



**Abordagem cíclica iterativa no desenvolvimento de produtos no
espaço Universidade-Indústria**

**Estudo de caso: Membrana resiliente de baixo custo para
isolamento de ruídos de percussão, com recurso a borracha
reciclada de pneus**

Ricardo Manuel de Sequeira Pereira Lopes

Projecto de Dissertação do MIEIG 2007/2008

Orientador na FEUP: Prof. António Pedro Oliveira de Carvalho



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**

2008-09-08

Resumo

Neste projecto foi aplicada uma abordagem cíclica e iterativa ao desenvolvimento de uma membrana resiliente de baixo custo para isolamento de ruídos de percussão, com recurso a borracha reciclada de pneus.

Foram seleccionados quatro vectores de análise - mercado, processo, desempenho e ambiente -, que foram percorridos em duas iterações.

Foi avaliada a dimensão potencial do mercado, enumerados os principais concorrentes, identificadas forças de competitividade, determinados os recursos e métodos necessários à produção, produzidos protótipos, quantificada a eficácia através de ensaios laboratoriais, analisado o impacto no mercado da reciclagem de pneus e enquadrado o produto no contexto da sustentabilidade.

Demonstra-se ser possível a produção de um isolamento eficaz, de baixo custo, com recurso a borracha reciclada de pneus.

Conclui-se que a indústria da construção assiste a uma mobilização em direcção à sustentabilidade, cujo caminho deverá ser trilhado em conjunto com um número vasto de partes interessadas.

A experiência com este projecto, que reuniu Indústria e Universidade em torno de uma ideia, serve de mote à proposta de criação de uma plataforma aberta de colaboração que exponencie o desenvolvimento da sustentabilidade no sector da construção.

Cyclic and iterative approach to product development in the University/Industry environment.

Case study: Low-cost resilient mat made of recycled tyre rubber for reduction of impact noise on floors.

Abstract

This project has applied a cyclic and integrated approach to the development of a low-cost resilient mat made of recycled tyre rubber for reduction of impact noise on floors.

Four drivers have been identified and analysed - market, process, performance and environment - and two steps were taken in the iteration process.

The potential market dimension was estimated, the product's main competitors were enumerated, the industry's competitive forces were identified, resources and methods required to the industrial production were determined, prototypes were produced, laboratory measurements of performance were carried on, the impact on the end-of-life tyre recycling market was analysed and the sustainability issues were put in perspective.

It was proved possible to produce a performant low-cost mat made of recycled tyre rubber and it was also concluded that the Construction Industry is moving towards sustainability along with a vast number of stakeholders.

The experience in this project, which gathered University and Industry around a simple idea, sets path to a proposal: To create an open platform that can lead to exponential growth in the matters of sustainable construction.

Agradecimentos

A todos os que me ajudaram, apoiaram e motivaram neste projecto, em particular ao meu orientador, Professor Doutor A. P. Oliveira de Carvalho, pela disponibilidade, ensinamento, afectação de recursos, revisão atenta do documento, paciência e amabilidade.

Ao Professor Doutor João Falcão e Cunha, por me colocar este desafio académico e por todo o apoio prestado.

Ao Professor Doutor Adélio Mendes e Professor Doutor Fernão de Magalhães, ambos do Departamento de Engenharia Química da F.E.U.P., pela forma como acarinharam a ideia e prestaram interessado auxílio na pesquisa da solução técnica de agregação, disponibilizando meios e abrindo as portas da Rede de Competência em Polímeros, que foi fulcral para o sucesso do projecto.

Ao Eng. Fernando Martins Fernandes da *Biosafe*, Eng. Susana Carvalho e Eng. Jorge Moniz da *Resiquímica* e Eng. José Nogueira da *CIN*, pelo empenho e interesse demonstrados.

Ao amigo José Carlos Oliveira, pela motivação, contributo e crítica.

À minha família.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	2
2	PRIMEIRA ITERAÇÃO.....	5
2.1	Mercado	5
2.1.1	Dimensão do mercado.....	5
2.1.2	Benchmarking.....	11
2.1.3	Preço-alvo.....	17
2.2	Processo produtivo	17
2.2.1	Seleção de materiais.....	17
2.3	Desempenho.....	21
2.3.1	Scorecard – Classificação por facetas.....	22
2.3.2	Resultados preliminares	25
2.4	Ambiente.....	25
2.4.1	Caracterização do mercado de reciclagem de pneus.....	25
2.4.2	Produção de granulados de borracha.....	30
3	SEGUNDA ITERAÇÃO	32
3.1	Mercado	32
3.1.1	Análise estratégica	32
3.2	Processo produtivo	35
3.2.1	Produção de protótipos.....	35
3.3	Desempenho.....	37
3.3.1	Ensaio acústico.....	37
3.3.2	Análise dos resultados.....	41
3.4	Ambiente.....	43
4	TERCEIRA ITERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO FUTURO.....	46
4.1	Processo produtivo	46
4.2	Desempenho.....	46
4.3	Ambiente.....	46
4.4	Mercado	47
5	Espaço Universidade-Indústria	48
6	Conclusões.....	50
7	Bibliografia.....	51
8	ANEXO A: Mapa de controlo de produção de amostras	53
9	ANEXO B: Dados dos ensaios de percussão	56

1 Introdução

Em meados de 2006, durante a revisão de um projecto de arquitectura de um empreendimento imobiliário de habitação multifamiliar, surgia um pormenor construtivo de uma solução de isolamento de ruídos de percussão - designada por “*lajeta flutuante*”¹ – que não sendo novidade do ponto de vista académico, era relativamente recente na aplicação em edifícios de habitação corrente.

Contactado o arquitecto projectista sobre o tipo de material proposto para a membrana resiliente, a resposta foi imediata – *Impactodan* – e a justificação não era menos peremptória – era o material mais indicado para aquela solução, acabava de ser usado numa outra obra com resultados satisfatórios e era barato. Este conjunto de argumentos parecia afirmar o material como “*standard*” inquestionável da indústria.

Dias depois, as notícias de abertura dos noticiários televisivos mostravam imagens de um incêndio de grandes proporções num depósito de pneus em Ovar, pertencente a uma unidade de reciclagem de pneus que os transforma em granulado.

Foi então que surgiu a ideia central deste projecto: a de questionar se seria industrialmente e economicamente viável utilizar a borracha reciclada de pneus para a produção de uma membrana de isolamento de ruídos de percussão, que pudesse concorrer e diferenciar-se dos produtos já existentes, nomeadamente pela vertente ambiental, contribuindo para solucionar o problema dos pneus em fim de vida.

De imediato se colocaram inúmeras questões: Qual o potencial deste mercado?, Quais são os materiais que existem para essa função? Que preço têm? Já existirão produtos que utilizem a borracha reciclada dos pneus? Que quantidade de pneus é que fica anualmente por reciclar? Para onde vão os pneus se não forem reciclados? Quanto custa produzir uma tonelada de granulado? Como é que se agrega? Como se distribui? Quem é que terá interesse em produzir este produto? Será que tem um isolamento eficaz? Quem é que domina a tecnologia? Que meios industriais vão ser necessários? Será que o cliente empresarial português no sector da construção valoriza o factor ambiental? E os seus clientes podem vir a valorizá-lo? O que é

¹ A solução de *lajeta flutuante* é geralmente composta por uma camada de argamassa de cimento e areia com espessuras tipicamente entre 4 e 6 cm, separada da laje estrutural por uma membrana resiliente de um material elástico, que tem por objectivo a separação dos dois elementos, absorvendo a vibração provocada pelo impacto ou deslizamento de objectos sobre os pavimentos. Tipicamente, estes ruídos de impacto são originados pelos passos dos utilizadores, a queda de objectos, as furações ou pregagem em mobiliário assente no pavimento, as vibrações de equipamentos domésticos, etc., cujo ruído é propagado através deste e da estrutura do edifício a elementos rígidos a ela ligados, sendo transmitido aos restantes compartimentos do edifício por radiação sonora das suas paredes, tectos e pavimentos.

mais penalizante para o ambiente, a transformação de pneus em granulado, ou a sua co-incineração nas cimenteiras, que tanta polémica tem vindo a gerar? Como é que se comunica no mercado dos materiais de construção? Quem são os agentes decisores? Será que este tema é suficientemente interessante para desenvolver um projecto?

A resposta a todas estas perguntas começou por ser uma só – É necessário organizar as ideias, agrupá-las, definir prioridades e objectivos.

Foi com este objectivo que se desenvolveu uma abordagem específica, denominada por *cíclica e iterativa*, que assenta no princípio de uma espiral divergente em torno da ideia central, em que se percorre um conjunto restrito de vectores com diversas passagens, gradualmente mais complexas e que a cada passo contribuem para os requisitos e objectivos dos que se seguem.

Esta abordagem é posta em prática no contexto do desenvolvimento inicial do produto proposto, seleccionando-se como vectores estruturantes *mercado, processo, desempenho e ambiente*.

Este documento é então estruturado em três *iterações*, repetindo-se em cada uma destas os quatro vectores.

No vector *mercado* é feita uma primeira abordagem à dimensão do mercado nacional e europeu, são identificados os principais produtos concorrentes e suas características, definindo-se um preço-alvo para o produto.

No *processo* seleccionam-se materiais (granulados, agregantes e suportes) e faz-se prova do conceito.

No *desempenho* avaliam-se empiricamente os resultados obtidos, relativizando-os e seleccionando a melhor composição para a produção dos protótipos.

No *ambiente* é abordado o tema da reciclagem de pneus no contexto nacional, europeu e mundial.

Com os resultados da primeira iteração sobre os quatro vectores, evolui-se para a segunda passagem, onde se reflecte sobre as *Forças de Competitividade* que caracterizam esta indústria, produzem-se protótipos funcionais que são ensaiados laboratorialmente e introduz-se o conceito de *Construção Sustentável*.

As linhas de desenvolvimento futuro são apontadas na terceira iteração.

A Figura 1.1 ilustra a abordagem desenvolvida, aplicada no referido contexto.

Por fim, é apontada uma via de transformação do espaço Universidade-Indústria no sentido da criação de uma plataforma aberta de colaboração que exponencie o desenvolvimento da sustentabilidade no sector da construção

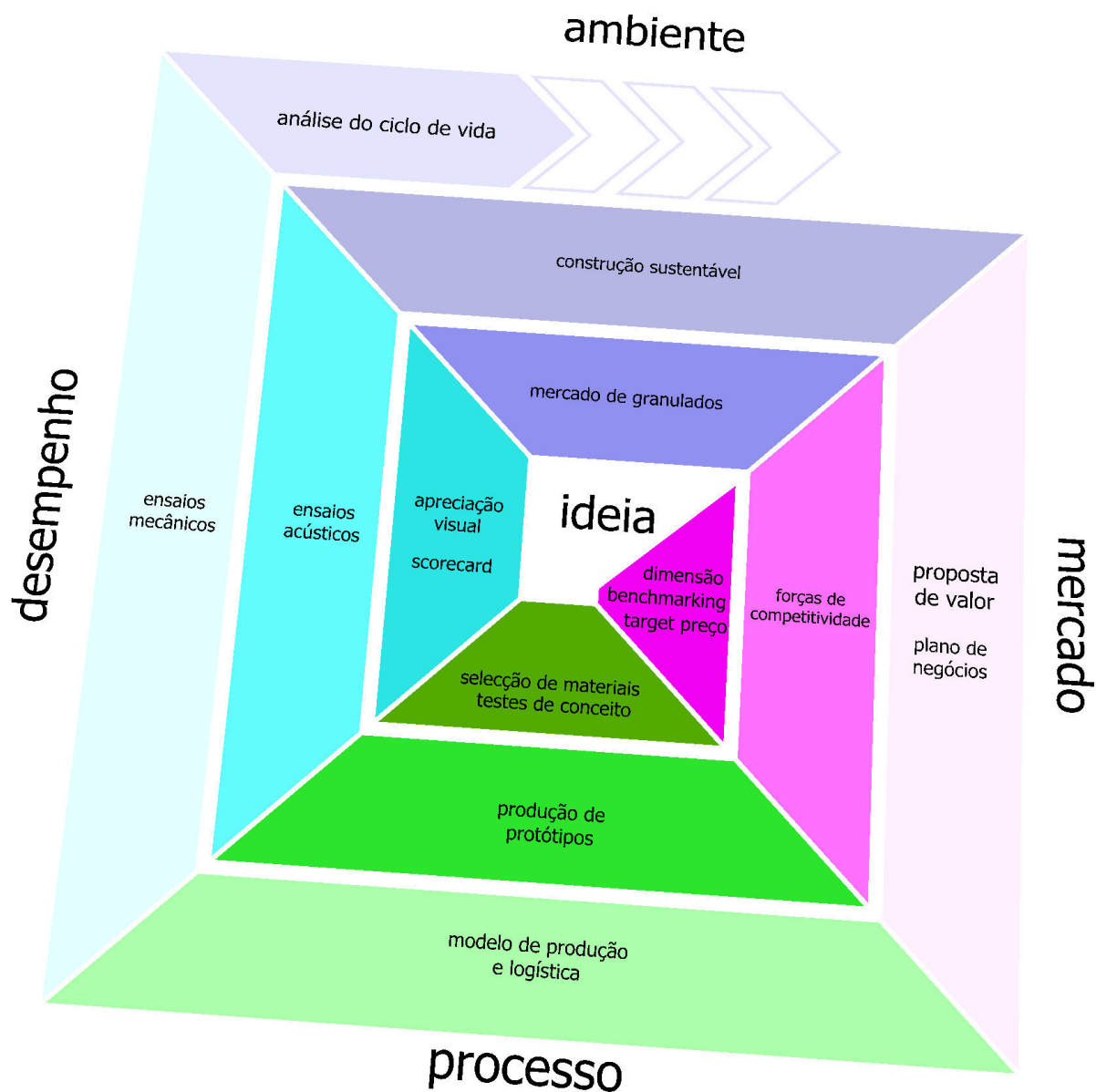


Figura 1.1 – Abordagem cíclica e iterativa aplicada no contexto do desenvolvimento do produto

2 PRIMEIRA ITERAÇÃO

2.1 Mercado

2.1.1 Dimensão do mercado

A dimensão do mercado é um factor determinante para a avaliação do potencial de negócio de um projecto, pois permite colocar em perspectiva a sua capacidade de gerar riqueza, sendo um instrumento fundamental na elaboração do plano de negócios.

A medida escolhida para a dimensão do mercado para o produto em análise foi a *"área de construção em edificações novas para habitação familiar"*.

Esta escolha teve por base uma simplificação por defeito do mercado potencial, uma vez que a solução acústica em estudo tem cabimento no que excede a construção nova (em reabilitações profundas) e o destino de habitação familiar (edifícios de serviços).

Contudo, o objectivo nesta fase foi o de obter uma ordem de grandeza do mercado nacional e europeu, tendo sido pesquisados os organismos que regulam o sector ou que normalmente gravitam em torno das actividades da construção, nomeadamente as associações de empresas, os gabinetes ministeriais, os órgãos de estatísticas, publicações de especialidade e outras fontes de informação avulsas.

Verifica-se uma grande dificuldade de acesso a informação compilada nesta matéria, nomeadamente na obtenção de valores absolutos com este nível de detalhe, embora o sector da construção e habitação receba destaque de entre as actividades industriais.

É habitualmente disponibilizada a evolução do sector por recurso a índices (por exemplo, Ano 2000=100) o que, por si, não é suficiente para estimar o potencial de mercado, mas útil para determinar se, na generalidade, está em crescimento, ou em retracção.

Convém referir que a medida escolhida – área de construção em edificações novas para habitação familiar – para além de representar apenas uma parte do mercado potencial, também é uma aproximação dentro deste conjunto, sobretudo pelos seguintes factores:

1. O conforto acústico tem vindo a ser matéria de regulamentação adicional, que leva à adopção de novas soluções para cumprimento dos requisitos mínimos.
2. A força competitiva do mercado da promoção imobiliária e clientes cada vez mais informados levam a que o conforto acústico seja cada vez mais valorizado, tornando-o uma ferramenta amplificadora da “qualidade” do imóvel.

3. A inovação e a optimização de soluções construtivas têm vindo a ganhar interesse, quer nos mercados em expansão, quer em retracção.
4. A procura de produtos ambientalmente valorizados tem vindo a ser uma preocupação e é assunto que varre transversalmente os sectores da sociedade e opinião pública.

Assim sendo, ainda que uma análise estrita com base em indicadores macroeconómicos evidencie o declínio de um mercado, como é o caso presente do mercado Português, pode revelar-se, através da incorporação destes factores, num potencial elevado de negócio para este produto, que conjuga o desempenho acústico com as componentes *inovação e ambiente*.

2.1.1.1 Mercado nacional

É com especial interesse que se constata que a informação disponibilizada no sítio da internet do Instituto Nacional de Estatística é a mais compreensiva e manipulável de todos os organismos de estatística consultados, quer o da União Europeia – Eurostat, quer os seus congéneres internacionais.

Os dados extraídos a partir das estatísticas resumem-se no Quadro 2.1, de onde se elaboram as seguintes reflexões:

- O parque habitacional Português situa-se actualmente em cerca de 5,5 milhões de alojamentos familiares clássicos, o que, com uma população residente na ordem dos 10,6 milhões, representa uma ocupação de 2 habitantes por fogo;
- A sua renovação pela via das obras de reconstrução é ainda marginal (4% das licenças emitidas);
- O número de fogos licenciados ronda a média de 70 mil por ano, podendo-se concluir que, no longo prazo:
 - a) Não havendo demolição ou reabilitação em volume significativo, o parque habitacional cresce, tornando as habitações mais antigas devolutas, já que a ocupação média está já no limite do razoável;
 - b) Demolindo habitações antigas e construindo habitações novas à razão de 1.3% ao ano (70.000/5.500.000) permite renovar completamente o parque habitacional em 77 anos, o que só é um prazo aceitável se a qualidade da construção (no sentido lato que inclui também o urbanismo) for fomentada.
 - c) Reabilitando edificações antigas, com intervenções de grande profundidade, para adequá-las às novas exigências do mercado e prolongar a sua vida útil, ser-lhes-á devolvido um estado próximo ao de um imóvel novo.

Abordagem cíclica iterativa no desenvolvimento de produtos no espaço Universidade-Indústria
Estudo de caso: Membrana resiliente de baixo custo para isolamento de ruídos de percussão, com
recurso a borracha reciclada de pneus

d) Ainda que no presente e no curto prazo seja a via da construção nova a responsável pelo crescimento do parque habitacional, tal não se poderá prolongar pelo médio e longo prazos, pelo que a reabilitação profunda terá o seu equilíbrio com a construção nova, à semelhança do panorama apresentado pela rede Euroconstruct ² para o resto da Europa ³, conforme o evidenciado Figura 2.1

INDICADOR			Período de referência dos dados			
			2004	2005	2006	
Alojamentos familiares clássicos (N.º)			N.º	5.390.876	5.462.430	5.519.654
Edifícios concluídos (N.º) por Tipo de obra e Destino da obra	Destino da obra:	Construções novas	N.º	31.098	31.644	25.448
		Ampliações, Alterações e Reconstruções	N.º	6.275	6.202	5.312
Edifícios licenciados (N.º) por Tipo de obra Reconstruções licenciadas por 100 construções novas licenciadas (N.º)	Tipo de obra: Obras edificação		N.º	49.868	48.240	45.542
			N.º	4,6	3,8	3,7
Fogos licenciados (N.º) em construções novas para habitação familiar por Entidade promotora	Entidade promotora	Total	N.º	76.311	72.965	68.615
		Pessoa Singular	N.º	33.069	31.918	29.348
		Organismo público	N.º	1.887	1.719	1.320
		Empresa privada	N.º	40.701	38.225	37.316
		Outros	N.º	654	1.103	631
Pavimentos por edifício licenciado (N.º) em construções novas para habitação familiar			N.º	2,5	2,5	2,5
Superfície habitável (1) das divisões licenciadas (m²) em construções novas para habitação familiar			m²	7.069.439	6.934.018	6.445.147
Superfície habitável (1) das divisões licenciadas (m²) por fogo, em construções novas para habitação familiar (2)			m²	93	95	94

(1) Valor correspondente à soma das áreas de todas as divisões ou compartimentos do alojamento (incluem-se todos os compartimentos excepto vestíbulos, circulações interiores, instalações sanitárias, arrumos e outros compartimentos de função similar e arm

(2) Valor calculado a partir dos dados obtidos

Quadro 2.1 – Caracterização do mercado da construção em Portugal

² EUROCONSTRUCT é a principal rede de construção, finanças e previsão de negócios na Europa. Foi criada em 1975 por uma série de institutos de pesquisa e organizações de consultoria especializada, como um grupo de estudo para a análise e previsão na construção.

³ Nos países europeus aderentes à rede Euroconstruct – Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Finlândia, França, Holanda, Hungria, Irlanda, Itália, Noruega, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

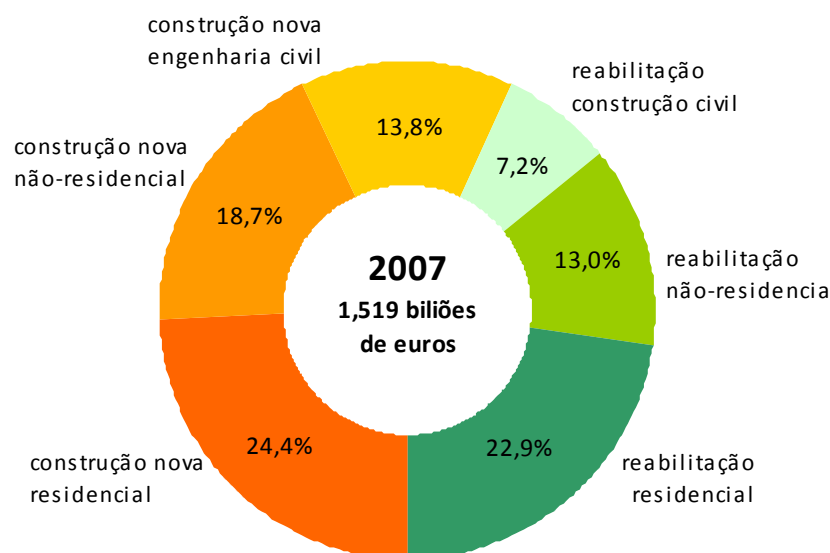


Figura 2.1 – Volume de produção em 19 países Europeus, por sectores, em 2007

- Os fogos licenciados pelos organismos públicos têm uma relevância marginal, quando comparados com os de promoção privada.
- O número médio de pavimentos por edifício licenciado é de 2,5, o que, por um lado, evidencia uma forte presença de moradias e edifícios unifamiliares de baixa cêrcea. As soluções de isolamento sonoro de ruídos de percussão poderão ser negligenciadas (não tanto do ponto de vista técnico, mas numa análise de custo-benefício) ao nível dos pavimentos térreos ou de rés-do-chão.
- A superfície habitável das divisões licenciadas em construções novas para habitação familiar ronda os 7 milhões de metros quadrados, com uma média de 94 m² por fogo, mas decorre da definição de divisão habitável a exclusão de compartimentos como vestíbulos, circulações interiores, instalações sanitárias, arrumos e armários, pelo que, face à solução construtiva preconizada, é razoável, para os grandes números, considerar uma área de 100 m² por fogo.

Assim, pode-se estimar que o potencial de mercado nacional para soluções acústicas de isolamento de ruídos de percussão será de $100 \times 70.000 = 7.000.000 \text{ m}^2$ por ano

2.1.1.2 Mercado internacional

Para obtenção dos dados do mercado europeu foi consultada a base de dados do Eurostat em epp.eurostat.ec.europa.eu, que dispõe de extensa informação detalhada sobre os países da União Europeia, nomeadamente sobre o tema da Construção e Habitação, mas uma vez que é apresentada sob a forma de índices periódicos – não estando acessíveis os valores absolutos - foi diligenciado um contacto directo com aquele organismo, que confirmou tal indisponibilidade, remetendo para uma pesquisa nos organismos nacionais de cada estado-membro.

Seleccionaram-se então os países que, segundo a Euroconstruct, representam cerca de 75% do volume de negócios gerado na construção na UE – Espanha, Alemanha, Reino Unido, Itália e França, repartido conforme se ilustra na Figura 2.2.

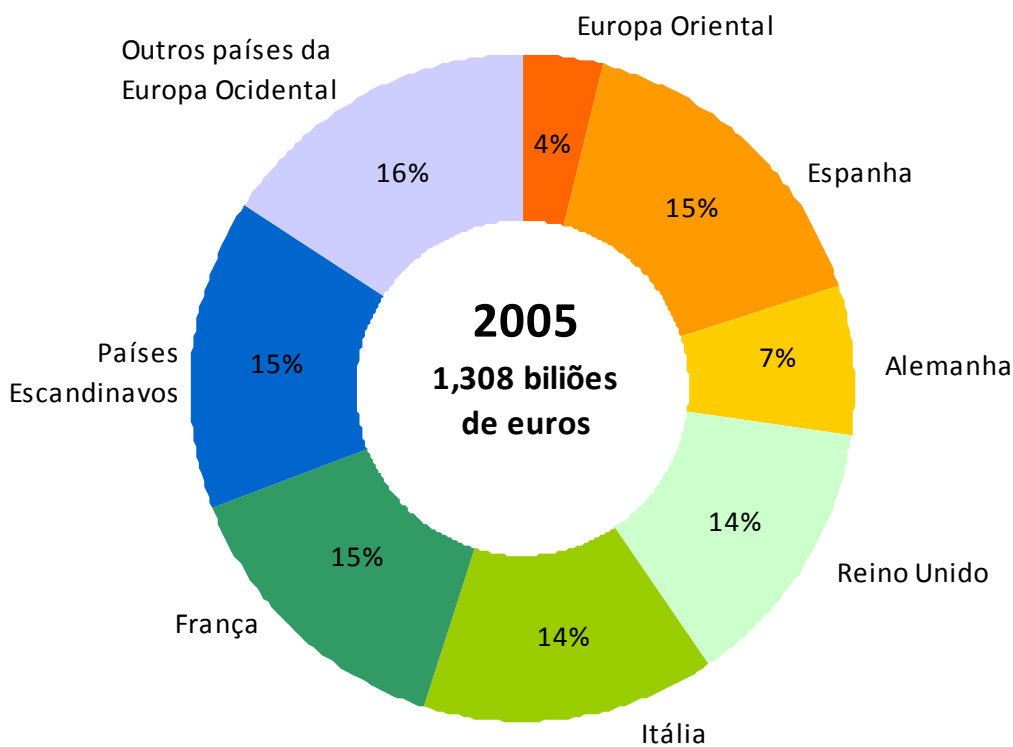


Figura 2.2 – Volume de negócios na Europa^{4 5 6}, por países, em 2005

⁴ Europa Oriental - Bulgária, Croácia, Eslováquia, Hungria, Polónia, República Checa, Roménia, Rússia, Sérvia, Turquia e Ucrânia.

⁵ Europa Ocidental - Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Holanda, Irlanda, Itália, Noruega, Portugal, Reino Unido, Suécia e Suíça.

⁶ Países Escandinavos – Noruega, Suécia e Dinamarca

Foram consultados os sítios da internet dos organismos oficiais de estatísticas de cada país e obtiveram-se os seguintes valores:

França – 421 mil fogos iniciados em 2006 ⁷;

Espanha – 865 mil fogos licenciados para construção nova em 2006 ⁸;

Itália – 167,5 mil fogos de construção nova no ano de 2001 ⁹;

Reino Unido – 218 mil fogos concluídos em 2006 ¹⁰;

Alemanha – 248 mil fogos licenciados em 2007 ¹¹.

Este conjunto de países totaliza, grosso modo, 250 milhões de metros quadrados licenciados que, com a devida tolerância face à natureza e proveniência díspar dos dados e de períodos de referência, é coerente com o apresentado pelo Euroconstruct que aponta para 2,5 milhões de fogos concluídos na Europa (Occidental e Oriental) em 2006, evidenciados na série histórica e previsões até 2009, reproduzidos na Figura 2.3.

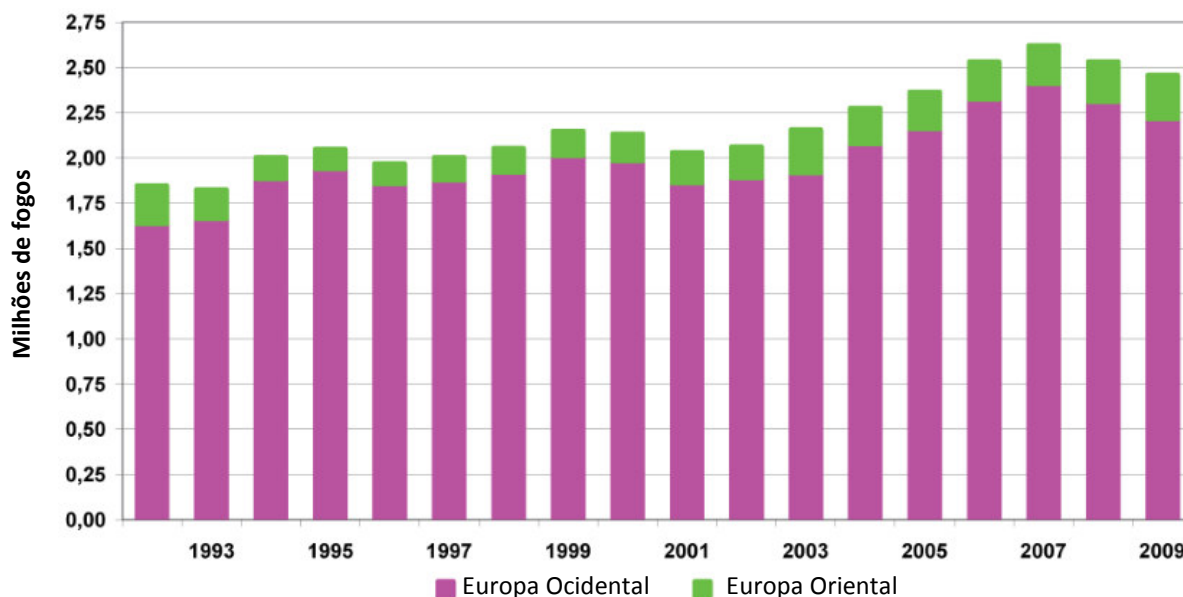


Figura 2.3 – Número de habitações concluídas na Europa 1992-2009

⁷ Sítio <http://www.insee.fr/fr/ffc/ipweb/ip1145/ip1145.html> acedido em 11/06/2008

⁸ Sítio <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do> acedido em 14/06/2008

⁹ Sítio http://www.istat.it/dati/catalogo/20040213_00/ acedido em 14/06/2008

¹⁰ Sítio <http://www.communities.gov.uk/housing/housingresearch/housingstatistics/housingstatisticsby/housebuilding/livetables/> acedido em 14/06/2008

¹¹ Sítio http://destatis.de/jetspeed/portal/_ns:YWl3bXMtY29udGVudDo6Q29udGVudFBvcnRsZXQ6OjF8ZDF8ZWNoYW5nZVdpbmRvd1N0YXRIPTE9dHJ1ZQ_/cms/Sites/destatis/Internet/EN/Content/Statistics/BauenWohnen/BautaeigkeiT/Tabellen/Content50/Permits,templateId=renderPrint,psml acedido em 15/08/2008

Complementarmente, pode-se referir que, segundo dados do Gabinete de Censos dos Estados Unidos – U.S. Census Bureau ¹², o número de habitações unifamiliares concluídos nos E.U.A. em 2006 eleva-se a 1,65 milhões, com uma área total de 380 milhões de metros quadrados, calculada a partir de uma área unitária média de 230 m². Retirando-se as habitações de um só piso, que representam 43% do total, passará a representar 217 milhões de metros quadrados.

Foram igualmente construídos, nesse ano, 325.000 fogos em edifícios multi-familiares, com uma área unitária média de 147 m², totalizando mais 48 milhões de metros quadrados.

A partir destes valores, poderá fixar-se a dimensão dos mercados Nacional, Europeu e dos Estados Unidos da América nos seguintes valores:

Portugal	≅	7.000.000 m ² /ano
Europa	≅	250.000.000 m ² /ano
Estados Unidos	≅	265.000.000 m ² /ano

2.1.2 Benchmarking

Benchmarking é o processo de avaliação da empresa em relação à concorrência, por meio do qual incorpora os melhores desempenhos de outras firmas e, ou, aperfeiçoa os seus próprios métodos. ¹³

Neste contexto foram pesquisados os produtos que concorrem para a utilização em análise – membrana resiliente sob lajeta flutuante – quer por consulta das práticas habituais das empresas no sector, pela obtenção de catálogos técnicos, pesquisas na internet e por aconselhamento do orientador do projecto.

A segmentação inicial dos produtos foi feita com base nas matérias-primas usadas, destacando-se assim os seguintes grandes grupos:

- Polietileno;
- Espuma de poliuretano;
- Cortiça;
- Têxteis;
- Lãs minerais;
- Fibras de coco;
- Borracha.

¹² Sítio <http://www.census.gov/const/www/charindex.html#singlecomplete> acedido em 12/06/2008

¹³ Definição de *benchmarking* no Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa, 2ª edição

2.1.2.1 Polietileno

As mantas de polietileno de célula fechada são os mais usados na construção, quer como membranas resilientes sob lajeta flutuante (com densidades na ordem de 35 kg/m^3 e espessuras geralmente superiores a 5 mm) quer como membranas sob pavimento final, particularmente no caso dos pisos flutuantes de madeira (densidade na ordem dos 20 kg/m^3 e espessuras até 5 mm).

Apresentam geralmente boa absorção acústica aos ruídos de impacto e elevada resistência à compressão e a sua colocação em obra é facilitada pela distribuição em rolos que se estendem sobre os pavimentos a isolar, pelo que são facilmente manuseáveis, impermeáveis e com baixa permeabilidade ao vapor de água, são resistentes à maioria dos produtos químicos presentes na construção, e são geralmente recicláveis e isentas de CFC¹⁴, sendo utilizados o CO_2 como agente expensor. A fonte primária da matéria-prima são os hidrocarbonetos de origem fóssil.

Característica comum a quase todos os materiais em análise é a baixa condutividade térmica, que poderá conduzir a uma melhoria no isolamento térmico, mas para o qual é preponderante a espessura da membrana, dado que existe uma proporcionalidade directa entre ambas. Geralmente, levando em conta as pequenas espessuras utilizadas, o isolamento térmico não é realmente valorizado, até pelo impacto negativo que a sua presença tem na inércia térmica da habitação, uma vez que para esta apenas passa a contribuir a massa superficial da lajeta.

A maior desvantagem apontada a estes materiais é a grande deformação remanescente por compressão, que se traduz pela perda de espessura e capacidade elástica após um período prolongado em compressão. Esta perda de características é ainda ampliada pela presença de ciclos dinâmicos de compressão, facto frequentemente evidenciado aquando da substituição de pavimentos flutuantes, por exemplo, em que a membrana de 4 mm inicialmente aplicada se reduz, ao fim de alguns anos de utilização, a uma fina camada com a espessura de uma folha de papel.

Durante a aplicação, a circulação de operários e equipamentos com cargas concentradas sobre a manta de estrutura interna alveolar e de baixa densidade, assente sobre uma superfície rugosa, leva frequentemente ao seu rasgamento, com a evidente anulação da função pretendida.

Estes materiais têm um custo muito baixo, que é dependente da densidade e da espessura, tipicamente rondando os 0,60 e os 2,00 euros/ m^2 para 10 mm de espessura.

As marcas de referência nesta classe são o *Impactodan* da *Danosa*, o *Texsilen* da *Texsa* o *Ethafoam* da *Dow*, o *ChovaImpact* da *Chova* e o *Pactpol force* da *EPOLI* (Portugal).

2.1.2.2 Espumas de poliuretano

As espumas de poliuretano têm a sua principal aplicação no isolamento sonoro de ruídos aéreos e correcções acústicas, mas a sua utilização mais visível é no domínio da absorção sonora, uma vez que são assumidas como revestimento final (vulgarmente com textura

¹⁴ Clorofluorcarbonetos – gases promotores do efeito de estufa

piramidal), por exemplo em estúdios de gravação, auditórios, campânulas insonorizadoras, etc.

São fabricadas por aglutinação de partículas de poliéter expandido e desperdícios de espuma com diferentes características, normalmente proveniente de colchões, seguindo-se um tratamento químico e cura a pressão e temperatura controladas, apresentando-se sob forma de placas de dimensão de 1x1 m, com espessuras entre 5 e 100 mm e densidades entre 60 e 200 kg/m².

A sua configuração em placas torna a aplicação muito facilitada, mas inviabiliza, na prática, a sua utilização como membrana resiliente sob lajetas betonadas *in situ*, dada a carga elevada de trabalho no tratamento das juntas entre placas para impedir que a betonilha fluida possa ligar-se à laje estrutural e às paredes circundantes, condicionando gravemente o desempenho acústico da solução. Contudo, é uma solução excelente quando a lajeta é formada por placas rígidas, como por exemplo de MDF, de contraplacado ou de gesso cartonado – método frequentemente utilizado – mas fora do âmbito da corrente análise.

Uma outra forma de ultrapassar o problema da colmatação das juntas é por sobreposição de um filme de polietileno de baixa densidade, vulgarmente designado por manga plástica, que evita a escorrência da argamassa através das juntas, mas que acresce ao custo da solução, tanto em material (cerca de 0,16 €/m²), como na mão-de-obra para aplicação.

Como nos polietilenos, as espumas de poliuretano de baixa espessura e densidade apresentam baixa resistência ao rasgamento.

Estes produtos têm uma forte componente de materiais reciclados, são recicláveis, livres de CFC e HCFC, dado que é usado o CO₂ como agente expensor e cumprem as normativas relativas à emissão de VOC (*Volatile Organic Compounds*, ou compostos orgânicos voláteis), mas a introdução do filme de polietileno penalizará a sustentabilidade da solução.

O preço da espuma de 10 mm situa-se entre 1,00 e 2,00 €/m² para a densidade de 60 kg/m³.

As marcas de referência são a *Aglomex* da *Flex2000* (Portugal) e *Arkobel* (Espanha).

2.1.2.3 Cortiça

Os aglomerados de cortiça são geralmente utilizados como isolamento sonoro sob revestimento final, seja em *parquets* colados em fábrica ou *in situ*, seja nos pisos flutuantes de madeira ou até sob revestimentos cerâmicos.

São particularmente eficazes na minimização do ruído de passos perceptível no próprio compartimento, criando uma sensação auditiva mais confortável e próxima da referência histórica dos soalhos pregados de madeira maciça.

A cortiça é usada como elemento absorvedor de vibração de equipamentos e o aglomerado negro de cortiça (tratamento em autoclave com vapor de água) é frequentemente utilizado como elemento resiliente de apoio das paredes no pavimento, com vista à redução da transmissão marginal do ruído.

Todos os produtos de cortiça são excelentes isolantes térmicos, em particular os de cortiça expandida que, pela sua espessura, são usados em soluções construtivas de isolamento térmico, quer em fachadas, coberturas, divisórias e até como revestimento final. O granulado

de cortiça é ainda utilizado na composição de betões e argamassas de enchimento, para melhoria do comportamento térmico.

Os aglomerados para pavimentos apresentados na forma de rolo têm espessuras entre 2 e 5 mm e densidades na ordem dos 150 e 220 kg/m³, podendo na sua composição incluir partículas de borracha (densidade 400 kg/m³) para aplicação sob cerâmicos, ou ser laminado com fibras de coco (em placas de 12 mm) para melhoria do comportamento térmico em pavimentos de madeira colados, combinação esta (cortiça-coco) que é também usada entre paramentos ou no interior de divisórias, para isolamento de ruído aéreo.

A cortiça é uma matéria-prima natural e renovável, proveniente de florestação controlada, e a produção dos aglomerados pode incluir material reciclado, privilegiando a utilização de energias renováveis, muito frequentemente pela queima dos próprios subprodutos da produção. O material é 100% reciclável com uma duração equivalente à do edifício, sem perda significativa das suas características.

Contudo, a aplicação destes produtos está condicionada pela sua baixa espessura (com excepção do aglomerado negro de cortiça que tem espessuras superiores) e densidade elevada, com alta rigidez dinâmica, que os torna pouco interessantes no âmbito das membranas resilientes sob lajetas flutuantes de betão, facto que é evidenciado pela ausência de referências a essa utilização por parte das empresas que os desenvolvem.

Os preços rondam 1,20 e 3,00 €/m² para espessuras de 2 e 5 mm, respectivamente.

A marca de referência para os aglomerados de cortiça é a *Amorim Indústria* e a *Amorim Isolamentos* para a cortiça expandida, onde opera também a *ISOCOR*.

2.1.2.4 Têxteis

Os isolamentos acústicos de origem têxtil são de utilização relativamente recente no mercado da construção de edifícios, mas largamente utilizados na indústria automóvel pela sua capacidade de absorção sonora e eliminação de ruídos parasitas e vibrações.

Compostos de desperdícios têxteis, nomeadamente de fio de algodão e lã de ovelha, são prensados e termofixados com adição de agentes ignífugos ou impermeabilizantes, podendo ser classificados como materiais reciclados e recicláveis, concorrendo simultaneamente para o isolamento térmico e acústico.

Apresentam-se em rolos facilmente manuseáveis e flexíveis, sendo fácil a garantia de continuidade e ligação com as paredes, fornecidos em diversas espessuras e densidades que se situam entre os 100 e 150 kg/m³.

A sua utilização no contexto dos pavimentos flutuantes betonados *in situ* vem descrita nas apresentações comerciais, mas a sua eficácia aparenta ser particularmente sensível ao facto de a betonilha ser aplicada húmida e fluida sobre a manta, o que poderá conduzir a uma impregnação da membrana com a calda de cimento, criando uma “ponte acústica” e assim anular a função de isolamento. Conforme anteriormente descrito no contexto das espumas de poliuretano, este fenómeno poderá ser evitado com a aplicação de um filme de polietileno de baixa densidade antes da aplicação da betonilha, que acresce o custo da solução e coloca entraves à perfusão do vapor de água, podendo originar um meio fértil ao desenvolvimento de microrganismos e criação pontual de condensações.

Contudo, no decorrer deste projecto, foi realizado um teste experimental para avaliar a possível extensão deste efeito, produzindo-se uma lajeta de 1x1 m com argamassa de pavimentos aplicada sobre uma manta têxtil, concluindo-se que praticamente não existe impregnação do isolamento.

Dada a sua estrutura filamentar cruzada de fibras têxteis de grande resistência, estes produtos são dificilmente rasgáveis e, portanto, menos sensíveis às operações de construção civil que se seguirão.

Os preços rondam 1,00 e 2,00 €/m² e operam no mercado Português as empresas *Boltherm*, *Efinergética* e *Auber*, sendo uma aposta de inovação da indústria têxtil nacional.

Em Itália, onde a indústria têxtil tem grande expressão, operam neste mercado as seguintes marcas: *Fibertex Pan*, *Isolmix*, *Polipren T*, *Recycletherm* e *Ultratouch*.

2.1.2.5 Lãs minerais

As lãs minerais têm um longo historial de aplicação na construção, quer como isolante térmico como acústico, distinguindo-se entre lãs de vidro e lãs de rocha pela matéria prima usada no seu fabrico e têm vindo a ser objecto de alguma polémica, nomeadamente nos alegados efeitos carcinogéneos provocados pela inalação de fibras libertadas para o ambiente, à semelhança do que foi comprovado para o amianto.

Curiosamente, é afirmação corrente que a lã de vidro está interdita em utilizações em que haja contacto com o ambiente respirável e que a lã de rocha, por ter uma densidade superior, não acarreta tal problema.

Nenhuma destas afirmações tem fundamento, tanto que em 2002 a IARC (*International Agency for Research on Cancer*) colocou ambas no Grupo 3, definido como os materiais "Não classificáveis quanto à carcinogenicidade para os humanos"¹⁵ e quanto à densidade, não há gamas que não sejam cobertas por ambas as origens, desde os 30 até aos 150 kg/m³.

A produção da lã de vidro requer a fusão (num processo altamente energético) de areias siliciosas com vidro reciclado, em proporções que podem atingir 80%, seguindo-se a sua transformação em fibra por um processo de centrifugação e arrefecimento, às quais são adicionados elementos ligantes para serem conformados e curados até se obter o produto final, sob a forma de rolo ou placas.

Para aplicação sob lajetas flutuantes existem as versões em placa, que obrigam à aplicação do filme de polietileno antes da betonagem, ou as versões em rolo, onde uma das faces está revestida com papel *Kraft*, ou está impregnada com um produto betuminoso e coberto por uma fina camada de granulado mineral.

Os preços variam entre 4,00 e 6,50 €/m² em ambas as origens.

São vários os fabricantes de lãs minerais, destacando-se pela dimensão a *Isover*, do grupo *Saint – Gobain* (França) e a *Rockwool* (Dinamarca).

¹⁵IARC, "IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans", Volume 81 - "Man-made Vitreous Fibres", IARC Press, Lyon, 2002

2.1.2.6 Fibras de coco

As fibras de coco são obtidas por um processo artesanal semelhante à espadelagem¹⁶ do linho, apresentando uma elevada elasticidade e resistência à humidade e ao desgaste, sendo usada desde tempos milenares na composição de *futons* (colchões japoneses) e mais recentemente na composição de assentos para a indústria automóvel.

Apresenta-se sob a forma de mantas ou placas, onde as fibras são prensadas com maior ou menor densidade, agregadas com látex natural. Sendo um material proveniente de fontes renováveis, não é certo que seja totalmente sustentável, uma vez que a plantação do coqueiro (*cocus nucifera*) não está controlada, especialmente na Índia – maior produtor mundial – que comercializa mais de mil milhões de toneladas desta fibra por ano.

A utilização deste material, pela sua estrutura porosa, coloca o mesmo tipo de condicionantes e acções complementares apontadas para as fibras têxteis.

Segundo informação comercial, os testes realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) à solução de lajeta flutuante de betão sobre manta de fibra de coco de 20 mm e densidade de 120 kg/m³, conduziram a resultados equiparáveis aos dos restantes materiais da presente comparação.

2.1.2.7 Borracha

Produtos resultantes da aglomeração de granulados de borracha são comumente utilizados em pavimentos desportivos e de recreio infantil (dada a sua capacidade de absorção de impactos) em superfícies anti-derrapantes e em pavimentação de estradas (reduzindo o desgaste dos pneus e da superfície, diminuindo a manutenção e reduzindo o ruído de rolamento), nas mais diversas peças de construção mecânica, mas no campo do isolamento acústico só têm real expressão nas juntas ou peças que servem de amortecedor vibrático nas ligações de equipamentos aos edifícios.

A sua aplicação como isolamento sonoro de ruídos de percussão encontra-se ainda restringida pelo seu elevado preço, sendo por isso posicionados no segmento de soluções de alto desempenho, o que não decorre imediatamente dos testes que são publicados nas informações comerciais, já que se situam nas gamas de valores habituais para esta função.

Encontram-se dois grandes grupos de interesse: o da borracha sintética em início de vida e os de borracha reciclada, distinguindo-se entre estes últimos os de borracha genérica dos que resultam do processamento de pneus em fim de vida.

A lista de fabricantes que usam borracha reciclada é extensa, sobretudo proveniente de Itália, destacando-se para a utilização pretendida as referências *Agglo-Porocell*, *Ecopolimer*, *Aetolia*, *Maxitalia*, *Nuevameridiana*, *Instacoustic*, *Regupol*, *Tyre Veneer*, e *Isolgomma*.

A referência *R-Line* da *Isolgomma* capta especial atenção, dado que utiliza uma dispersão de pequenas aparas de borracha sobre papel *Kraft* impregnado com uma emulsão betuminosa, onde é criada uma textura acolchoada cuja superfície de contacto é uma fracção da superfície

¹⁶ Separação das fibras do linho, usando um instrumento de madeira com forma de cutelo.

total, aparentando ter, empiricamente, um comportamento acústico melhorado, aliado a uma economia de material substancial.¹⁷

Os preços situam-se entre 4,50 e 7,50 €/m²

2.1.3 Preço-alvo

Não obstante as mais-valias já apresentadas a propósito da introdução de soluções acústicas mais eficazes, da utilização de materiais sustentáveis e do mercado com dimensão e dinâmica favoráveis, o factor preço não deixa de revestir uma importância fulcral na adopção destes produtos, porquanto, friamente, o produto valerá essencialmente pela sua função de isolamento sonoro e as mais-valias que advêm dos vectores intangíveis como a sustentabilidade, mais não servirão que para distingui-los em patamares de igualdade de preços, pelo menos no médio prazo, onde certamente se verificará uma predominância de produtos com estas características.

No *benchmarking* detectou-se um claro posicionamento dos materiais em análise, na gama de 1,00 a 2,00 €/m² – valores de tabela. Contudo, consultas informais para o fornecimento de 10.000 m² apontam para valores entre 0,60 e 1,20 €/m².

A abordagem ao factor preço neste projecto é então feita sob a forma impositiva, isto é, em vez de se determinar o preço de venda a partir da estrutura de custos, determinar-se-á que estrutura de custos é compatível com o preço de venda que se fixa em 1,00 €/m².

2.2 Processo produtivo

2.2.1 Selecção de materiais

A selecção de materiais iniciou-se pelos granulados de borracha reciclada de pneus, estabelecendo-se um contacto com a *Biosafe*, empresa líder no mercado Português, com sede em Ovar, identificando-se três gamas de granulometrias com interesse para a aplicação pretendida – 8-2,5 mm; 2,5-4,0 mm; 4,0-7,0 mm, com densidades na ordem dos 600 a 700 kg/m³ – de onde se obtiveram amostras para ensaios. Foi ainda aventada a possibilidade de utilização de colas à base de resinas de poliuretano para a agregação do granulado na forma pretendida.

Seguiu-se um contacto com o Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), no sentido de recolher uma sugestão sobre as matérias-primas que poderiam ser usadas como agregantes do granulado e, dado o envolvimento de uma unidade de investigação deste Departamento com a indústria dos aglomerados de madeira onde são usadas resinas de ureia-formaldeído com essa função (caracterizadas pelo seu baixo custo), partiu-se para a produção de amostras experimentais em

¹⁷ De referir que nos materiais de borracha, que se caracterizam como tendo um elevado coeficiente de Poisson (razão entre as deformações transversal e longitudinal), perto do limite de 0,5, o facto de a área livre para deformar ser aumentada, por criação de espaços intersticiais entre os grânulos, diminui a rigidez total aparente, quando comparada com uma amostra de igual dimensão, em que os grânulos se encontrem compactados.

laboratório, fazendo-se variar empiricamente a proporção resina/endurecedor/parafina e temperatura/tempo/pressão.

Foram preparadas as formulações de resina e procedeu-se à encolagem manual, que consiste na impregnação dos grânulos com a substância adesiva, depondo-se de seguida a mistura sobre um papel *kraft*. Em algumas amostras, para aumentar a aderência da pasta de borracha ao suporte fez-se a impregnação prévia do papel com resina e dosagem controlada de parafina.

As amostras foram sendo curadas numa prensa térmica a 120° C durante 4 minutos, com e sem aplicação de pressão.

Os resultados obtidos ficaram aquém do pretendido, uma vez que a resina de uretano-formaldeído não adere efectivamente ao granulado, formando uma película rígida que, em alguns casos, apenas encapsula os grânulos e adere o conjunto ao *Kraft*. É porém conseguida alguma flexibilidade uma vez quebradas algumas colagens internas do agregado, mas a colagem débil ao suporte *Kraft* não confere resistência mecânica satisfatória.

As figuras 2.4 a 2.7 reproduzem algumas das amostras e efeitos relatados.



Figura 2.4 – Amostras produzidas com resina de ureia-formaldeído

Retomando a sugestão das colas à base de poliuretano, explorou-se um material denominado comercialmente por *Hyperdesmo Flash*, usado em impermeabilizações líquidas na construção, que se aplica por aspersão a alta pressão e que forma uma membrana com espessura de 2 a 3 mm, com excelentes características de flexibilidade e alongamento.

Dada a exigência de equipamentos adequados à aspersão de alta pressão, aproveitou-se a execução de uma impermeabilização de uma cobertura de um edifício com este material para produzir as amostras pretendidas.

Sobre o papel *kraft* foi aplicada uma fina camada de *Hyperdesmo Flash* diluído com 10% de água para conferir propriedades tixotrópicas (redução da fluidez através da linearização das cadeias do polímero), com uma massa superficial na ordem dos 200 g/m², depositando-se seguidamente o granulado com uma espátula e vibrando para que se desse a homogeneização e eliminação de material em excesso, após o que se voltou a aspergir uma camada de um verniz elástico de poliuretano – *Hyperdesmo ADY* altamente diluído com Xileno (20% / 80%), com uma massa superficial de 300 g/m².

Ao fim de cerca de uma hora à temperatura ambiente, a amostra apresentava-se praticamente seca ao tacto, verificando-se uma adesão satisfatória do poliuretano ao grânulos e ao suporte, o que se materializava num tapete flexível, impermeável e com o efeito acolchoado presente no produto da Isolgomma que havia captado o interesse aquando do *benchmarking*.

No entanto, o elevado custo deste material, na ordem dos 5,00 €/kg, torna este método altamente dispendioso para o objectivo de preço definido.



Figura 2.5 – Amostras produzidas com Hyperdesmo

Seguiu-se, então, a procura de matérias-primas que se equiparassem a este produto comercial o que, consultado novamente o Departamento de Engenharia Química da FEUP, deu origem ao contacto com a Rede de Competência em Polímeros, tendo este tema merecido interesse e disponibilidade por parte de duas das empresas participantes: *CIN – Corporação Industrial do Norte, S.A.* e *Resiquímica – Resinas Químicas S.A.*

A colaboração com estas empresas permitiu que se seleccionassem os produtos mais adequados à função pretendidas, no caso da *CIN* o *C-Thane PVC 700 BR*, comumente designado por "tinta de boneco", pela sua utilização na pintura de brinquedos em PVC, formulada com elastómeros de poliuretano.

No caso da *Resiquímica*, obtiveram-se as dispersões aquosas de polímeros acrílicos e estireno-acrílicos, designadas por *Polidisp DM 9762* e *Polidisp 7730*, habitualmente utilizadas nas composições de revestimentos elastoméricos de fachadas e planos horizontais.

Foi ainda encetado o contacto com a *Lorcol* – empresa fabricante de colas para as indústrias do calçado, construção civil, cortiça, entre outras, que disponibilizou a referência *Lorpur 1728*.

Reunidos os aglomerantes, a elaboração das amostras pretendeu imprimir as seguintes características, desejáveis no produto final:

- Comportamento flexível – para aumento da manuseabilidade e possibilidade de distribuição em rolo;
- Agregação das partículas do granulado entre si e destas ao suporte – para garantia da perduração das características de isolamento desde a produção à aplicação e durante o tempo em serviço;
- Textura acolchoada – para redução da matéria-prima consumida e da rigidez dinâmica do conjunto;
- Processo facilmente reprodutível à escala industrial – para simplificação dos equipamentos de produção e seu consequente custo;
- Sustentabilidade dos materiais empregues – para atingir a meta de produto sustentável e elevar a sua classificação;
- Tempo de secagem curto – para aumentar a velocidade de produção;
- Baixo custo – para cumprir a meta de preço estipulada;

Foram então produzidas 17 amostras com diversas combinações de agregante, por recurso às técnicas de encolagem, fazendo-se a aplicação com espátula sobre o papel *kraft* ou, quando a fluidez do produto simples ou diluído o permitiam, por aspersão dos aglomerantes sobre o granulado depositado no *kraft*. Em alguns casos aspergiu-se novamente uma fina camada de aglomerante diluído sobre as amostras, tendo em vista o aumento da coesão superficial das partículas de granulado. O Anexo A contém o mapa de controlo de produção de amostras.

As figuras 2.6 e 2.7 ilustram partes do processo e algumas das amostras produzidas.



Figura 2.6 – Produção de amostras por aspersão e encolagem



Figura 2.7 – Amostras produzidas

2.3 Desempenho

O termo "desempenho" está associado à medição de um resultado nos campos da engenharia, da computação, do desporto, etc., significando também, rendimento, comportamento, eficácia, e eficiência.

A definição das medidas para quantificação de cada uma das características desejáveis no produto final é, porém, uma tarefa esvaziada de sentido, pelo menos em termos absolutos, quer pela própria definição (flexível, acolchoada, etc.), pela complexidade (sustentabilidade) ou pelo grau de dependência do processo industrial (tempo de secagem, baixo custo).

Contudo, o posicionamento de cada uma das amostras em relação às restantes é de execução simples, sobretudo se a forma de as comparar for também agilizada.

Utilizaram-se então as seguintes dimensões de análise:

- Flexibilidade;
- Agregação;
- Sustentabilidade;
- Custo.

O tempo de secagem foi omitido, pela forte dependência do processo tecnológico em ambiente industrial, que tornará inútil qualquer resultado obtido nas presentes condições.

Como todas as amostras foram produzidas com recurso às técnicas de encolagem e aspersão, ambas largamente utilizadas em processos industriais, não importou fazer o posicionamento relativo nesta dimensão.

A textura acolchoada é, em grande parte, resultado da conciliação dos factores flexibilidade e agregação, pelo que se torna redundante a criação de uma dimensão isolada.

Quer a flexibilidade, quer a agregação, foram classificadas na sequência de uma apreciação visual e táctil – incutindo-se um grau de subjectividade na análise – mas que largamente compensa o esforço que seria definir e avaliar com rigor científico tais parâmetros.

O custo foi calculado com base nas dosagens usadas e preços de matéria-prima apontados pelos fabricantes.

A determinação do grau de sustentabilidade teve por base dois grandes factores: origem/concentração da matéria-prima e a libertação de VOC, quer na matéria-prima, quer na eventual utilização de diluentes.

A ponderação destes três factores pode ser feita através dos coeficientes m , vm e vd na expressão:

$$S = m * MP + vm * (MP/D_{mp} * VOC_{mp}) + vd * (DIL/D_{dil} * VOC_{dil})$$

Onde S é o grau de sustentabilidade;

m , vm e vd são os coeficientes ponderativos da origem do material, da libertação de VOC do material e da libertação de VOC do diluente, respectivamente.

MP e DIL são, respectivamente, a massa da matéria-prima e de diluente na amostra, em gramas;

D_{mp} e D_{dil} são, respectivamente, a densidade da matéria-prima e do diluente, em gramas por litro;

VOC é a massa de compostos orgânicos voláteis libertada, por litro de matéria-prima (VOC_{mp}) ou diluente (VOC_{dil}).

Este método tem como objectivo uma primeira análise, simplista, da sustentabilidade dos produtos, servindo apenas para dar expressão a esta dimensão que, obviamente, carecerá de análise mais aprofundada, nomeadamente pela utilização de uma metodologia reconhecida internacionalmente, conforme se propõe para desenvolvimento futuro do projecto.

2.3.1 Scorecard – Classificação por facetas

A metodologia *Balanced Scorecard* é uma análise técnica destinada a traduzir a missão e estratégia global de uma organização em metas quantificáveis e acompanhar o desempenho da organização na prossecução destes objectivos. Desenvolvido por Robert Kaplan e David Norton, em 1992, a metodologia *balanced scorecard* é uma abordagem abrangente que analisa o desempenho global de uma organização em quatro vias, ou perspectivas, incluindo-se nestas a financeira, a dos clientes, a dos processos internos e a do conhecimento e crescimento.

Esta metodologia serviu de mote para a definição inicial dos vectores de interesse neste projecto de desenvolvimento, mas também para o processo comparativo do desempenho das várias soluções.

Classificaram-se relativamente entre si cada uma das amostras numa escala de 1 a 5, dimensão a dimensão, que se resume no Quadro 2.2 - cujo quadro de suporte se poderá encontrar no Anexo A.

Produto	Agregação	Flexibilidade	Preço	Ambiente
CIN 77-700	5	4	5	1
Resiquímica Polidisp DM 9762	4	4	1	4
Resiquímica Polidisp 7730	2	5	1	4
Hyperdesmo	4	5	3	1
Ureia formaldeído	2	3	1	4
Lorcol	5	3	2	1
Polidisp 7730 para ensaios	5	5	1	4

Quadro 2.2 – Indicadores de desempenho das amostras

Embora produzidos numa fase ulterior, estão desde já incluídos os protótipos produzidos com vista à realização de ensaios acústicos - variando apenas o método de aplicação e concentração da matéria-prima - cuja contextualização se mostra agora mais oportuna.

A melhor forma de evidenciar a informação contida nestes dados é desenhá-los num mapa perceptual de valor – Figura 2.8 - que represente as quatro dimensões, optando-se pelo gráfico de bolhas, onde nos eixos se encontram a flexibilidade e a agregação, o tamanho da bolha representa o seu custo (proporcional à área) e a cor, o seu grau de sustentabilidade (de vermelho a verde).

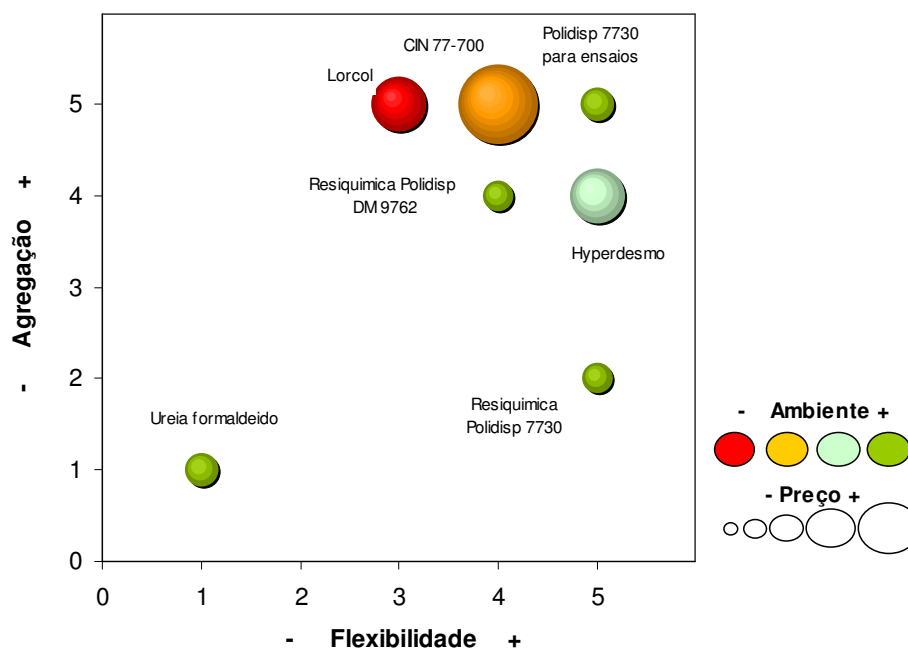


Figura 2.8 – Mapa perceptual de valor das amostras

Desde logo se destacam os fracos resultados obtidos com a resina de ureia-formaldeído e o grupo de polímeros com maior agregação e flexibilidade.

Os dados que suportam o produto da *Lorcol* carecem de robustez, uma vez que não foram disponibilizadas fichas técnicas do produto, mas a sua elevada viscosidade aponta para uma grande diluição com diluentes orgânicos ou sintéticos.

O *Cin 77-700*, para além do consumo elevado, tem uma forte libertação de VOC (≤ 680 g/l) e dada a sua grande viscosidade obriga à diluição com diluentes (≤ 827 g/l), facto corroborado pela sua retirada da carteira de produtos da *CIN*, que tem vindo a investir no desenvolvimento de produtos com elevado grau de sustentabilidade.

O *Hyperdesmo* tem uma libertação nula de VOC, mas o facto de poder ser diluído apenas com uma pequena percentagem de água, torna a massa de matéria-prima (poliuretanos) o factor mais importante.

As referências da *Resiquímica* têm vantagens em toda a linha, uma vez que é uma dispersão aquosa onde a massa de polímeros ronda os 50%, não liberta VOC, é passível de diluição com água, aceita técnicas de encolagem e aspersão e tem um custo final manifestamente inferior ao dos restantes, colocando-a assim no caminho do preço final pretendido

É ainda de referir que, no processo industrial, a água presente na amostra poderá ser retirada rapidamente por evaporação e, uma vez que se dá um fenómeno de reticulação por raios solares, pode ser feita uma fixação final por recurso a raios ultra-violeta.

Por este conjunto de razões, o *Polidisp 7730* foi escolhido para elaborar os protótipos de maior dimensão destinados aos ensaios acústicos, que serão analisados na próxima fase do desempenho – os ensaios acústicos em laboratório.

2.3.2 Resultados preliminares

As amostras produzidas com o *Polidisp 7730* da *Resiquímica* apresentam uma agregação robusta, formando um tapete flexível que pode ser facilmente enrolado, estando os grânulos de borracha uniformemente dispersos sobre o papel *kraft*, obtendo-se a textura acolchoada pretendida, tanto mais quanto menor for a granulometria utilizada.

A quantidade de matéria-prima é reduzida, dada a sua forma de dispersão aquosa a 50% e da posterior diluição com água.

Uma breve aproximação aos custos nesta fase permite concluir que foi possível obter amostras na ordem dos 0,60 €/m² e que a influência do agregante se situou nos 60% do custo total, havendo, por isso, grande interesse em explorar composições alternativas dentro desta gama de polímeros, com vista à optimização do preço final.

2.4 Ambiente

2.4.1 Caracterização do mercado de reciclagem de pneus

De acordo com dados de 2003 da Associação Europeia de Reciclagem de Pneus (ETRA) estima-se que mais de 250 milhões de pneus chegavam anualmente ao fim de vida nos então 15 países da Europa Comunitária (EU15), com igual número a ser atingido nos restantes países europeus, América do Norte, América Latina, Ásia e Médio Oriente.

Na EU15, os pneus acumulados em depósitos ultrapassavam os 1.000 milhões, acrescendo aos que ao longo dos anos foram colocados em aterros, em lixeiras ilegais e um pouco por toda a paisagem.

Segundo a Associação de Fabricantes de Borracha dos EUA, em 2005 ainda restavam 188 milhões de pneus em depósitos nos Estados Unidos, número que corresponde a 19% dos contabilizados em 1990. Em 1997 a Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos da América (E.P.A.) situava este número nos 2 a 3 mil milhões, com 1 pneu por habitante a atingir o fim de vida anualmente.

Na figura 2.9 pode-se constatar que o panorama mundial do número de pneus que chega ao fim de vida a cada ano está dividido em 50% com origem em países desenvolvidos, nos quais há um esforço por controlar o seu destino e 50% onde figuram países subdesenvolvidos e aqueles países que têm demonstrado um desenvolvimento industrial e económico exponencial, como é o caso da China e da Índia, onde circulam cada vez mais veículos.

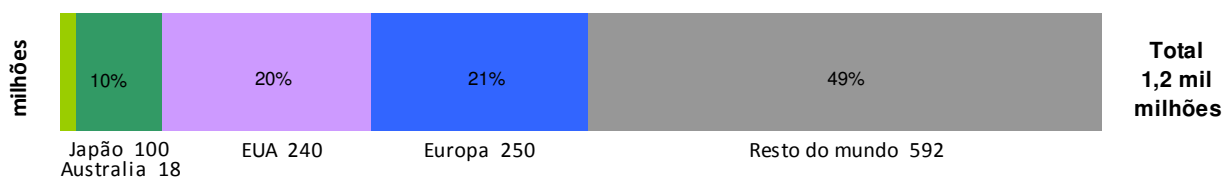


Figura 2.9 – Número de pneus em fim de vida a cada ano

Estes números demonstram a importância que o destino dos pneus em fim-de-vida representa para o ambiente, pois a negligência ou descontrolo no seu tratamento resulta frequentemente em incêndios de difícil extinção (que não se cingem à pilha de pneus, alastrando às florestas, povoações e indústrias), com a libertação de compostos tóxicos para a atmosfera, bem como de ácidos, metais pesados e derivados de petróleo que se infiltram nos solos, contaminando os lençóis freáticos e cursos de água.

Mesmo os pneus que apenas residem ao ar livre, para além da poluição visual, constituem perigo para a saúde pública, uma vez que retêm água no seu interior, fornecendo um habitat fértil a microrganismos, insectos e roedores.

Estudos laboratoriais e de campo levados a cabo pela E.P.A.¹⁸ demonstram que a queima descontrolada de pneus produz gases tóxicos que representam riscos crónicos e agudos para a saúde, nomeadamente irritação da pele, olhos e mucosas, efeitos respiratórios, afectação do sistema nervoso central e cancro, identificando 34 compostos químicos com elevado potencial de risco para a saúde.

Em geral a composição típica de um pneu de veículo ligeiro contém borracha natural e sintética, negro de fumo¹⁹, arame de aço, fibras têxteis, enxofre e óxido de zinco, bem como outros aditivos, essencialmente derivados do petróleo, nomeadamente compostos aromáticos, nafténicos, parafínicos e ceras, nas proporções ilustradas na Figura 2.10²⁰.

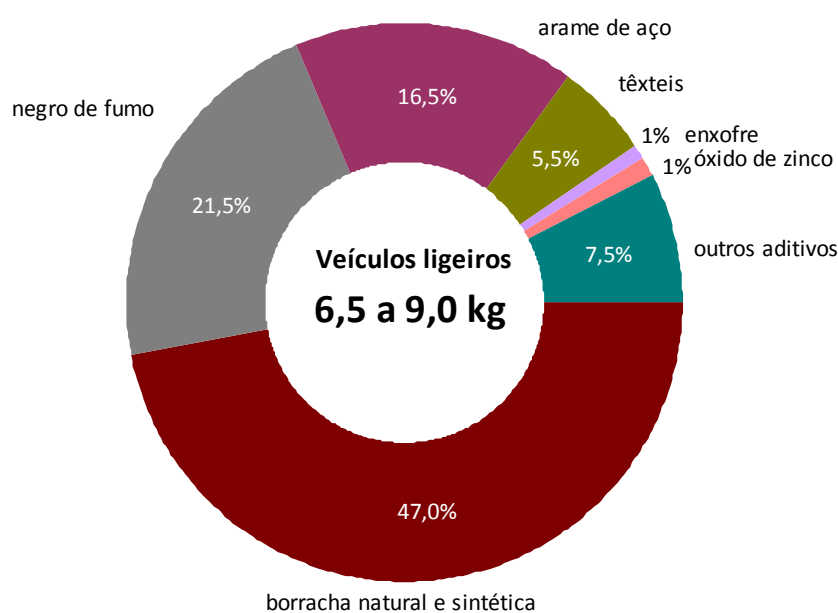


Figura 2.10 – Composição típica de um pneu de veículo ligeiro

¹⁸ United States Environmental Protection Agency, "Air emissions from scrap tyre combustion", Office of Research and Development, Washington D.C., 1997.

¹⁹ Pó constituído por carbono quase puro, obtido por combustão incompleta do gás natural e outras substâncias ricas em carbono.

²⁰ Secretariat of the Basel Convention (SBC), "Technical Guidelines on Hazardous Wastes: Identification and Management of Used Tyres", Basel Convention Series/SBC No: 99/008, Genebra, Outubro 1999.

Segundo uma publicação ²¹ da ETRA, existem cinco vias principais para os pneus em fim de vida na Europa:

- Exportação de pneus parcialmente usados para países mais pobres;
- Recauchutagem;
- Material reciclado, com aplicação na engenharia civil, construção e reabilitação, assim como em produtos industrial e de consumo;
- Energia – Sendo usados como combustível em centrais eléctricas, cimenteiras ou fábricas de celulose;
- Aterros – A colocação de pneus em aterros está limitada pela Directiva Comunitária 199/31/EC

Nas figuras 2.11 a 2.13 apresenta-se a quantificação destas vias de reciclagem, nos contextos geográficos dos E.U.A. ²², Europa ^{23 24} e em Portugal ²⁵.

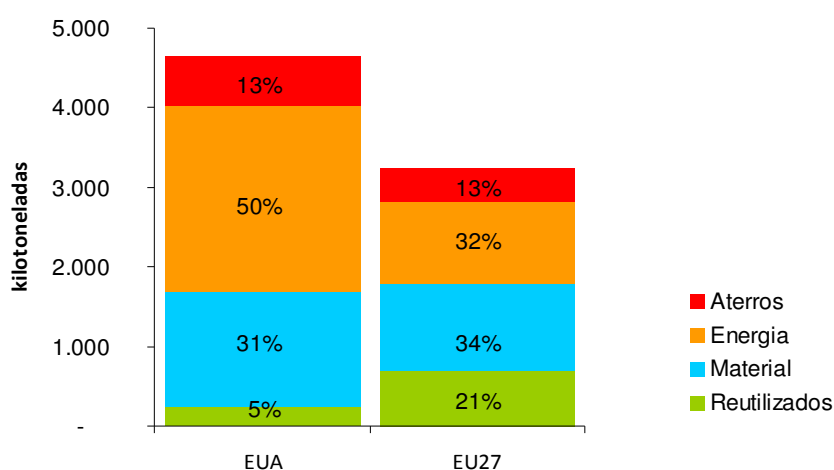


Figura 2.11 – Destino dos pneus em fim de vida nos EUA e Europa

²¹ European Tyre Recycling Association, “Introduction to Tyre Recycling : 2004”, no sítio <http://www.etra-eu.org/>, acedido em 16/08/2008

²² Rubber Manufacturers Association, “Scrap Tire Markets in the United States - 2005 Edition”, no sítio <https://www.rma.org/publications>, acedido em 16/08/2008

²³ ETRMA – European Tyre Manufacturers Association, “Used tyres recovery in Europe in 2006”, no sítio http://www.etrma.org/pdf/Used_tyres_recovery_in_Europe_in_2006_ETRMA_national_figures_July_07.pdf, acedido em 16/08/2008

²⁴ EU27 – Actuais estados-membros da União Europeia (U.E.); EU12 – Países que entraram para a U.E. após 2003 - Bulgária, Chipre, Eslováquia, Eslovénia, Estónia, Hungria, Letónia, Lituânia, Malta, Polónia, República Checa e Roménia.

²⁵ Valorpneu – Sociedade de Gestão de Pneus, Lda., “Relatório anual & contas 2007”, no sítio <http://www.valorpneu.pt/> acedido em 16/08/2008

Abordagem cíclica iterativa no desenvolvimento de produtos no espaço Universidade-Indústria
Estudo de caso: Membrana resiliente de baixo custo para isolamento de ruídos de percussão, com
recurso a borracha reciclada de pneus

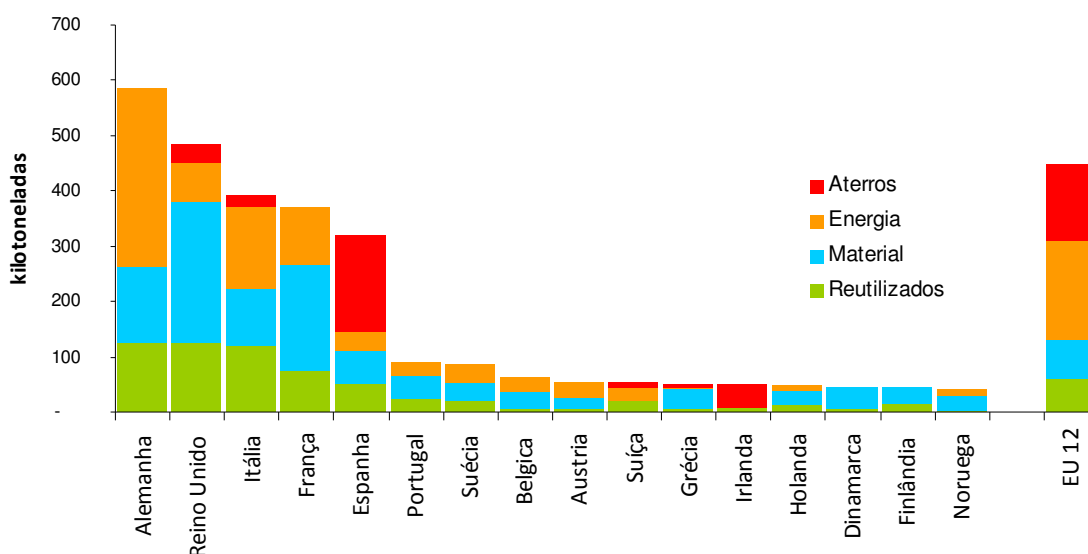


Figura 2.12 – Destino dos pneus em fim de vida na Europa

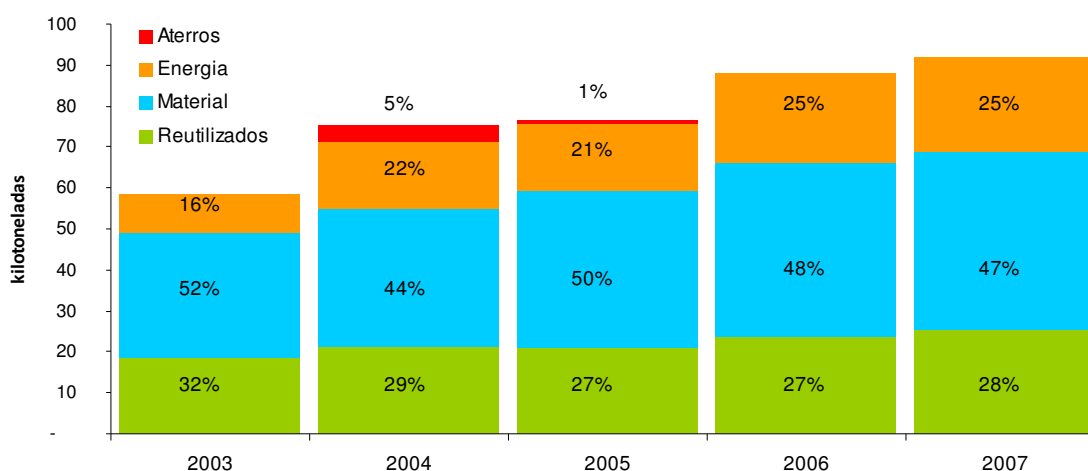


Figura 2.13 - Evolução do destino dos pneus em fim-de-vida em Portugal

Da análise dos dados pode-se constatar que a percentagem de pneus reutilizados (parcialmente utilizados e recauchutados) na Europa é quatro vezes superior à dos Estados Unidos (5% e 21%, respectivamente), sendo idêntica a percentagem que ainda é remetida para aterros (13%).

A utilização como combustível – valorização energética – é mais significativa nos EUA, representando 50% dos pneus em fim-de-vida, enquanto que na Europa esta utilização é de 32%.

Nos países da Europa Ocidental representados na Figura 3.12, a Alemanha, Reino Unido, Itália, França e Espanha representam 77% do volume total.

Neste conjunto é relevante assinalar a configuração em Espanha, que ainda apresenta uma percentagem de deposição em aterros na ordem dos 54%, a da Alemanha, com 55% de valorização energética e a do Reino Unido, com 52% de valorização como material.

Nos países da Europa Oriental – EU12 – a taxa de deposição em aterros é elevada (31%) para os padrões verificados na Europa Ocidental e nos E.U.A., verificando-se também uma forte utilização dos pneus em fim de vida como combustível (40%).

Em Portugal, a evolução nos últimos cinco anos aponta para um crescimento do número de pneus processados, devendo-se em parte à evolução natural do mercado, mas também ao esforço que a *Valorpneu* desenvolveu no alargamento do número de produtores aderentes ao Sistema de Gestão de Pneus Usados (SGPU) e na consolidação da rede de pontos de recolha e de valorizadores ²⁶, assinalando-se o facto de, actualmente, nenhum pneu ser enviado para aterro, sendo a taxa de recauchutagem (28%) mais do dobro da média europeia (12%).

Um indicador interessante para o presente projecto é o rácio entre o volume de pneus enviados para valorização energética e os reciclados para material (energia/material), situando-se Portugal nos 7 primeiros da Europa Ocidental, com 51%, ficando atrás da Noruega (46%), Holanda (30%), Reino Unido (29%), Grécia (11%), Dinamarca e Finlândia, que não os utilizam como combustível.

Nesta utilização, os pneus podem usados como combustível complementar ou alternativo para o fabrico de cimento ou para a produção de electricidade e vapor em unidades de co-geração devido ao seu elevado poder calorífico, o qual ronda os 5.700 kcal/kg, 16% inferior ao do carvão que é de 6.800 kcal/kg.²⁷

O estudo da E.P.A. sobre as emissões para a atmosfera resultantes da combustão de pneus em fim de vida indica que a sua utilização como combustível em fornos de combustível sólido (carvão, coque, madeira, etc.), em proporções de 10 a 20%, com um bom controlo de combustão e de emissão de partículas, não produzirá mais poluentes que os combustíveis substituídos.

Fornos especificamente desenhados para o efeito poderão utilizar exclusivamente combustível derivado de pneus, com emissões que ficam abaixo das ocorridas nos que usam outros combustíveis.²⁸

Com respeito aos custos médios de tratamento dos pneus em fim de vida, dados recolhidos junto da *Valorpneu* apontam para um total de 114 €/ton, onde a armazenagem e transporte dos pneus representa cerca de 40% e a valorização 60%, conforme se ilustra na Figura 2.14.



Figura 2.14 - Custo médio de tratamento de pneus em fim-de-vida em Portugal

²⁶ Valorpneu – Sociedade de Gestão de Pneus, Lda., “Relatório anual & contas 2007”, no sítio <http://www.valorpneu.pt/> acedido em 16/08/2008

²⁷ Valorpneu – Sociedade de Gestão de Pneus, Lda., no sítio <http://www.valorpneu.pt/> acedido em 16/08/2008

²⁸ United States Environmental Protection Agency, "Air emissions from scrap tyre combustion", Office of Research and Development, Washington D.C., 1997

2.4.2 Produção de granulados de borracha

Os recicladores utilizam os pneus usados como matérias-primas, interessando-lhes, fundamentalmente a borracha vulcanizada, sendo que depois do processamento que efectuam, apresentam como produtos finais, fibras têxteis, aço e granulado de borracha com diferentes granulometrias.

Dois dos processos mais conhecidos de reciclagem de pneus usados são:

- a) O processo mecânico – Trituração mecânica dos pneus, onde a borracha é fragmentada numa série de trituradoras e moinhos, sendo o aço retirado através de separação magnética e o têxtil separado por diferença de densidade. No final do processo, o granulado de borracha é dividido em várias gamas, consoante a sua granulometria, através de crivos com diferentes dimensões de malha.
- b) O processo criogénico – em que é utilizado azoto líquido para congelar a borracha à temperatura aproximada de -160°C num túnel criogénico, o que leva à fragmentação da borracha e à produção de granulado de borracha fino. O pneu sofre uma primeira trituração mecânica sendo em seguida os seus fragmentos transportados para o túnel criogénico, onde a temperatura de entrada do azoto é de aproximadamente -192°C e a temperatura de saída da borracha é cerca de -80°C . Após a passagem pelo túnel criogénico e pelos martelos pneumáticos, o aço e o têxtil do pneu são separados da borracha através de separação magnética e por aspiração, respectivamente.

Em relação aos produtos finais obtidos, o aço é vendido a empresas que processam metais (reciclagem), o têxtil que até há pouco tempo era depositado em aterro controlado é actualmente passível de valorização energética, enquanto o granulado de borracha é usado, por exemplo, no fabrico de pavimentos desportivos, nomeadamente para campos de futebol, pistas de tartan, recintos desportivos diversos e parques infantis.

Os granulados mais finos podem ser incorporados no fabrico de asfalto (BMB – Betume Modificado de Borracha) para construção ou reparação de estradas.

Em Portugal, no ano de 2007, 43.600 toneladas de pneus foram enviadas para duas empresas recicladoras (*Biosafe* e *Recipneu*), com o objectivo de transformação em material, e 22.900 toneladas para valorização energética.

3.4.3 Impacto da solução em estudo no contexto da reciclagem de pneus

Contrariamente à ideia que ainda possa residir no senso comum – essencialmente devida à imagem de pneus depositados ilegalmente em lixeiras e um pouco por toda a paisagem de Portugal nas últimas décadas do século XX – a valorização já cobre praticamente 100% dos pneus que atingem o seu fim de vida, tendo como destinos a reutilização, a transformação em material e a utilização como combustível, ocupando Portugal os lugares cimeiros no contexto europeu, em termos de recolha, recauchutagem e reciclagem.

A título de comparação de ordens de grandeza, pode-se calcular que os 7.000.000 m² de habitação construídos anualmente em Portugal, se utilizassem, na sua totalidade, a membrana resiliente objecto deste estudo, com um consumo de 160 g/m² de granulado, ou o correspondente consumo bruto de 280 g/m² de pneus ²⁹, seriam responsáveis pelo consumo total de 1.960 toneladas de pneus, ou seja, 4,5% do granulado produzido e 8,5% da massa de pneus que é utilizada como combustível.

Deste modo, conclui-se que a utilização desta solução de isolamento de ruídos de percussão tem um impacto marginal no consumo de borracha reciclada de pneus, ou até no eventual deslocamento da combustão para reciclagem, principalmente se levarmos o valor da penetração de mercado para o limite do plausível, que se arbitra ser de 10%.

²⁹ A relação entre a massa de pneus à entrada e de granulado à saída de uma unidade de reciclagem de pneus é de 7/4, segundo informação da *Recipneu - Empresa Nacional de Reciclagem de Pneus, Lda*.

3 SEGUNDA ITERAÇÃO

3.1 Mercado

3.1.1 Análise estratégica

3.1.1.1 As cinco forças de Porter

Michael E. Porter, Professor da Harvard Business School (E.U.A.), é considerado uma autoridade em estratégia competitiva, na competitividade e desenvolvimento económico das nações, estados e regiões, e à aplicação dos princípios competitivos para os problemas sociais, tais como os cuidados de saúde, meio ambiente, e de responsabilidade corporativa.³⁰

Em 1979 desenvolveu a teoria das *Cinco Forças da Competitividade*,³¹ como um modelo de exploração do ambiente em que uma determinada empresa ou produto operam, com vista à definição de processos estratégicos de competitividade, auxiliando os decisores na forma de explorar as características particulares da sua Indústria.

Resumidamente, as *cinco forças* caracterizam-se por:

- a) O Poder da Concorrência – Grau de competitividade entre os operadores concorrentes, nomeadamente pela existência de líderes de mercado ou de dimensões muito diferentes;
- b) A Ameaça de Produtos e Serviços Substitutos – Sensibilidade do produto ou serviço a ser substituído, particularmente devido ao factor preço.
- c) A Ameaça de Novos Operadores - Grau de facilidade com que os novos operadores começam a competir, principalmente devido à existência de barreiras à entrada;
- d) O Poder de Negociação dos Clientes – Grau de dominância dos compradores e possibilidade de se agruparem em grandes encomendas;
- e) O Poder de Negociação dos Fornecedores – Grau de dependência dos fornecedores, nomeadamente quanto ao seu número e existência de monopólios;

³⁰ Extraído da sua biografia no sítio da *Harvard Business School* em <http://drfd.hbs.edu/fit/public/facultyInfo.do?facInfo=bio&facEmId=mporter&loc=extn>, acedida em 20/08/2008

³¹ Michael E. Porter, “Competitive Strategy – Techniques for analysing industries and competitors”, The Free Press, 1980

Utilizando este modelo para caracterizar o mercado onde o produto proposto operaria, destacam-se as seguintes observações, assinalando com “▲” as que constituem uma oportunidade, com “▼” as que poderão constituir uma ameaça e com “►” as que são simultaneamente oportunidade e ameaça:

a) O Poder da Concorrência

- ▼ Grande número de empresas a oferecer produtos com a mesma função, muitas das quais com grande dimensão;
- ▲ Indústria em crescimento, dados os requisitos cada vez mais restritivos e grau de informação dos clientes finais;
- ▲ Grande dispersão e falta de informação, nomeadamente a técnica;
- ▼ Grande necessidade de investimento em marketing, nomeadamente para fazer chegar a informação dos produtos aos prescritores e consumidores empresariais;
- Forte dependência do *marketing* com a cadeia de distribuição

b) A Ameaça de Produtos e Serviços Substitutos

- Propensão para manutenção, por parte de prescritores e consumidores empresariais, das soluções utilizadas no passado;
- Custo unitário demasiado baixo para ser considerado crítico;
- Pequena variabilidade na eficácia da redução do ruído entre produtos concorrentes;
- ▼ Cada operador cobre gamas extensas de produtos com a mesma função;
- ▲ A *sustentabilidade e reciclagem* são factores imediatamente apercebidos pelo mercado;
- ▲ Valorização moderada de produtos fabricados em Portugal;
- O isolamento é incorporado na construção, não ficando à vista do cliente final;
- ▼ Elevado número de alternativas tecnológicas e abertura à inovação.

c) A Ameaça de Novos Operadores

- ▲ Propensão para manutenção, por parte de prescritores e consumidores empresariais, das soluções utilizadas no passado;
- Incentivos comerciais aos distribuidores, prescritores e compradores;
- Conhecimento específico da indústria, quer da produção, quer da construção.

d) O Poder de Negociação dos Clientes

- ▲ Grande número de clientes;
- ▶ Encomendas de volume porventura elevado;
- ▶ Facilidade na troca de soluções;
- ▶ Selecção de produtos com base no que os concorrentes seleccionam;
- ▶ Sensibilidade moderada ao preço;
- ▶ Cadernos de encargos, projectos e condições técnicas poderão “bloquear” certas soluções de isolamento de ruídos;
- ▲ Nível reduzido de conhecimento técnico.

e) O Poder de Negociação dos Fornecedores

- ▼ Número restrito de fornecedores;
- ▼ *Procura* superior à *Oferta*;
- ▼ Processo estudado para a matéria-prima em particular;
- ▼ O custo da matéria-prima é o mais pesado na estrutura de custos;

Esta rápida passagem pelas forças de competitividade permite desde já identificar alguns dos pontos onde o produto poderá ganhar vantagem competitiva e onde deve dirigir a sua atenção/investimento para as influenciar a seu favor, nomeadamente:

- Evitar rivalidade de preços, não por praticá-los mais altos, mas posicionando-os na média;
- Diferenciação do produto, em especial pelo vector *ambiente*;
- Dispor de informação técnica completa;
- Comunicar universalmente, com ênfase no consumidor final;
- Envolver parceiros tecnologicamente aptos para o desenvolvimento constante do produto;
- Acentuar as características reais e perceptíveis do produto, explorando a *textura acolchoada*;
- Defender a propriedade industrial;
- Emagrecer custos de produção e de logística;
- Criar uma imagem de marca;
- Estabelecer alianças com fornecedores de referência;
- Quebrar ligações/dependências de distribuidores;
- Estabelecer alianças com clientes de referência.

3.1.1.2 A sexta força de Porter

O impacto que o modelo das *Cinco Forças de Competitividade* teve na análise e posicionamento estratégico das empresas, associada à extensa disseminação nos meios académicos que a adoptaram e decorridas quase três décadas desde a sua apresentação, deu tempo, causa e lugar às mais variadas críticas, adaptações, interpretações e extensões, das quais a mais mediática será, porventura, a *sexta força* que, em algumas versões toma a forma de *Governo*, *Público*, ou *Os Media*, mas a que parece reunir maior divulgação é *O Poder dos Complementares*, que traduz a capacidade de constituir alianças com produtos ou serviços que, de alguma forma, possam ser complementares ou complementados com o produto ou serviço em questão, inclusivamente quando destinados a cumprir a mesma função.

Em Janeiro de 2008, Michael Porter reafirma, actualiza e estende o seu modelo das *cinco forças* num novo artigo da Harvard Business Review, precedido de uma entrevista onde abre caminho a este tipo de cooperação entre competidores.³²

No produto em estudo são facilmente encontradas possíveis alianças com produtos complementares ou complementados por este, como por exemplo as argamassas de pavimentos, lajes aligeiradas, tijolos com características especiais, outros isolamentos térmicos e acústicos, revestimentos finais de pavimentos, etc.

Pode ainda ser explorada uma via da associação do produto com um serviço, na forma de concepção e execução de soluções de isolamento acústico, em que é assumida a responsabilidade e prestada garantia sobre a eficácia final.

3.2 Processo produtivo

3.2.1 Produção de protótipos

A fase anterior do processo produtivo centrou-se na obtenção de amostras que provassem o conceito nas vertentes flexibilidade, agregação, sustentabilidade e preço.

Nesta fase importou aferir o desempenho acústico da solução, essencialmente conferido pelas propriedades intrínsecas ao granulado de borracha reciclada de pneus e da forma como este se encontra disposto no suporte, pelo que a atenção se dirigiu para a obtenção de protótipos de dimensão 70x70 cm, com agregação e flexibilidade suficientes, relegando para segundo plano os restantes factores.

A escolha entre as duas referências da *Resiquímica* teve por base apenas a quantidade de matéria-prima sobrança dos testes anteriores, que era superior para o *Polidisp 7730*, embora os seus resultados estivessem mais longe da meta 5-5 em agregação e flexibilidade.

Optou-se assim pela técnica da encolagem com recurso a uma dosagem acrescida de agregante, que foi diluído com 20% de água, para aumentar a fluidez e trabalhabilidade.

³² Este estado de cooperação-competição foi designado de “*co-optição*” pelos Professores Adam Bradenburger, da Harvard Business School e Barry Nalebuff da Yale School of Management, no seu livro de 1996 “*Co-Optition : A Revolution Mindset That Combines Competition and Cooperation : The Game Theory Strategy That's Changing the Game of Business*”, Doubleday Broadway Books, 1996

Abordagem cíclica iterativa no desenvolvimento de produtos no espaço Universidade-Indústria
Estudo de caso: Membrana resiliente de baixo custo para isolamento de ruídos de percussão, com
recurso a borracha reciclada de pneus

Os resultados obtidos foram compatíveis com o pretendido, conseguindo-se uma excelente agregação e flexibilidade, com um custo agravado em cerca de 30% em relação ao que se havia obtido anteriormente, mas que ainda se enquadra na classe mais baixa de preço.

As fotografias da Figura 3.1 - ilustram os protótipos obtidos.

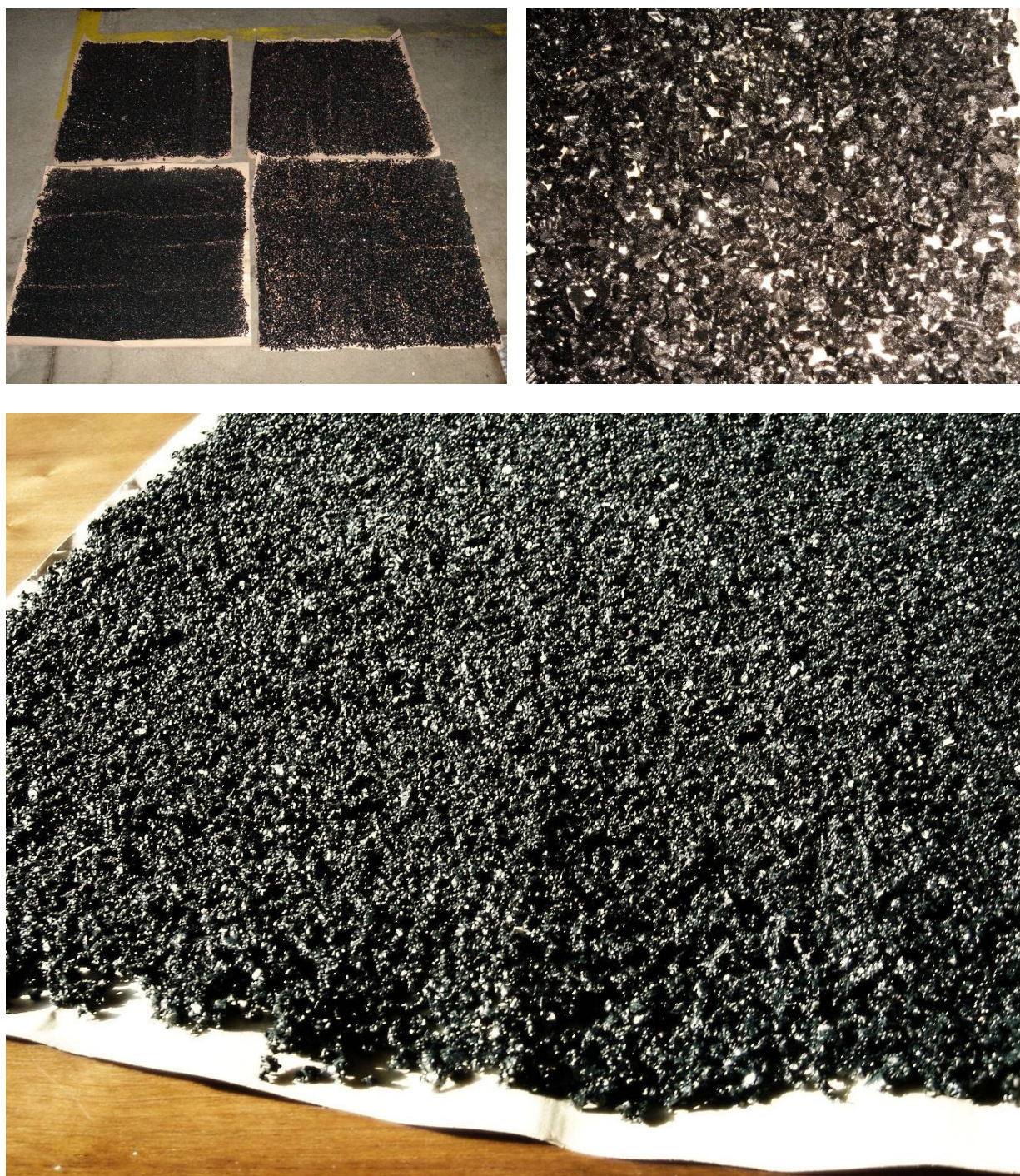


Figura 3.1 – Protótipos produzidos com granulado de borracha reciclada de pneus e resina *Polidisp 7730* da *Resiquímica*

3.3 Desempenho

3.3.1 Ensaios acústicos

A eficácia dos isolamentos a ruídos de percussão, caracterizado pelo índice ΔL_w , é feita com recursos a ensaios acústicos normalizados, numa ou ambas as seguintes formas:

- ensaios laboratoriais, onde se utilizam duas câmaras adjacentes sobrepostas, separadas por uma laje de betão normalizada, montando-se o provete de ensaios na câmara superior e sobre o qual se faz a percussão com recurso a uma máquina de impactos normalizada, sendo medido o ruído na câmara inferior, assim inferindo-se o índice de redução sonora - Ensaios segundo a Norma EN ISO 140-8 e EN ISO 717-2;
- ensaios *in situ*, onde são realizados os ensaios de forma análoga, nos pavimentos de divisões sobrepostas de um edifício - EN ISO 140-7 e EN ISO 717-2.

O primeiro permite caracterizar a eficácia da solução de isolamento em condições ideais, controladas e com elevado grau de repetibilidade, facilitando assim a comparação directa entre diferentes materiais na membrana resiliente, enquanto que o segundo, por realizar-se em pavimentos de edifícios construídos e dada a influência das transmissões marginais³³ do ruído, torna mais complexa a sua obtenção.

É no entanto de referir que dos ensaios laboratoriais poderão ser estimados os valores de isolamento *in situ*, levando em conta as contribuições das transmissões directa e marginais. Norma EN 12354-2.

Uma terceira forma de calcular aproximadamente a eficácia das membranas resilientes em lajes flutuantes é através da sua rigidez dinâmica, que se calcula pelo quociente entre a força dinâmica e o deslocamento dinâmico, sendo determinada em ensaios laboratoriais simples onde se ensanduicha o provete (amostra de 20x20 cm do material a caracterizar) entre uma base de betão e uma chapa de aço, aplicando-se uma força vertical oscilatória para se medir dinamicamente o deslocamento através de um acelerómetro instalado no conjunto.

Para lajes de betão com lajetas flutuantes, a determinação da eficácia ΔL_w pode ainda ser simplificada por consulta num gráfico, dadas a rigidez dinâmica e a massa superficial da lajeta.³⁴

É importante evidenciar que os testes normalmente executados para avaliar o isolamento sonoro a ruídos de percussão tornam difícil comparar de forma objectiva os materiais para isolamento a sons de percussão. Cada entidade requisitante do teste escolhe o tipo de solução, os materiais e as espessuras a utilizar nos testes, pelo que dificilmente se encontram materiais testados nas mesmas condições, não sendo portanto correcto compará-los através destes testes. Segundo Rushforth³⁵, a avaliação da aptidão de materiais para isolamento sonoro a

³³ Transmissão da energia sonora, de um compartimento emissor ao receptor, através da estrutura e elementos rígidos a ela ligados.

³⁴ Malcom J. Crocker, "Handbook of Acoustics", Wiley Interscience, 1998

³⁵ Rushforth, I.M. *et al.*, "Impact sound insulation and viscoelastic properties of underlay manufactured from recycled carpet waste", Applied Acoustics, n.º 6, Volume 66, Elsevier, 2005.

ruídos de percussão deve ser realizada determinando experimentalmente o módulo de Young e o factor de perda ($\tan \delta$) desses materiais. Rushforth defende que a combinação de um elevado factor de perda e um baixo módulo de Young, leva a um bom desempenho no isolamento sonoro a ruídos de percussão. Ou seja, apesar de haver testes objectivos que permitem a comparação entre materiais, este tipo de testes raramente são realizados ou não são revelados pelos fabricantes/vendedores, tornando difícil a comparação entre materiais.³⁶

Levando tal em conta e seguindo a linha do *benchmarking* que tem vindo a presidir à definição do produto, optou-se por realizar uma série extensa de ensaios a diversos materiais destinados ao isolamento de sons de percussão em pavimentos - incluindo-se os protótipos produzidos - com o objectivo de obter um índice de isolamento que fosse comparável entre eles (visto que as condições de ensaio são repetidas), em vez de caracterizar rigorosamente os protótipos produzidos.

Deste modo, com o acompanhamento do orientador do projecto, reuniram-se as condições para realizar os ensaios no Laboratório de Acústica da FEUP, tendo sido seguida a metodologia descrita na Norma EN ISO 140-8 – Medição em laboratório da redução de transmissão sonora de revestimentos de piso em pavimento normalizado – com aligeiramento de algumas das suas disposições, que se traduziu, essencialmente, nos seguintes itens:

- a) Utilização de apenas um provete de cada material;
- b) Posicionamento da máquina de percussão em três posições diferentes;
- c) Utilização de quatro posições fixas de microfone sem que se alterassem as suas posições entre ensaios.

Este aligeiramento permitiu que fosse possível, no tempo disponível, a cobertura de um maior número de produtos, com resultados que se podem comparar relativamente e que não estarão muito distantes do que se poderá aferir com ensaios laboratoriais certificados, conforme se pôde constatar para alguns materiais que os apresentam.

Utilizaram-se os seguintes equipamentos de laboratório:

- Microfones 1/2" Bruel & Kjaer;
- Sistema PULSE Bruel & Kjaer;
- Máquina de percussão Bruel & Kjaer, modelo 3204.

Para estes ensaios foi ainda necessário produzir, antecipadamente, uma lajeta com as dimensões de 70x70x4 cm, utilizando uma argamassa de pavimentos da marca *CIARGA*, dispondo de pegas laterais para ser rápida e facilmente posicionada sobre os provetes.

Como membrana ou manta resiliente, foram então ensaiados os seguintes materiais:

- *Impactodan* 5 mm da Danosa;
- Os protótipos produzidos, designados por *b-quiet*, com as granulometrias 8-25 mm, 25-40 mm, 40-80 mm e uma mistura de granulometrias de 8 a 40 mm;
- *Ethafoam* 222-E 5 mm da Dow;

³⁶ 2º Relatório de progresso da AVEIRODOMUS - Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro, subprojecto de acústica, Universidade de Aveiro, Julho de 2006

- *Texsilen* 5 mm da *Texsa*;
- Composto de cortiça e borracha 2 mm *AcoustiCORK C21* da *Amorim*;
- *Aglomex* 5 mm 60 kg/m³; 10 mm 120 kg/m³; 20 mm 120 kg/m³ da *Flex 200*;
- *Boltherm 501* (5 mm) e *503* (10 mm) da *Boltherm*;
- *Boltherm 504* (polietileno) 5 mm;
- Cartão cancelado 5 mm, 440 g/m².

No decurso da campanha de ensaios surgiu a curiosidade de aferir a vantagem, do ponto de vista do isolamento de ruídos de percussão, de utilizar a solução de lajeta flutuante em vez de uma composição típica de revestimentos de pavimentos – um pavimento flutuante de madeira.³⁷

Para esta série de ensaios dispôs-se o isolamento sonoro sobre a laje de ensaio, montando-se de seguida o pavimento flutuante em estratificado de madeira, com dimensões aproximadas de 70x70 cm.

Por uma questão de mera conveniência, os ensaios seguiram a mesma metodologia da EN ISO 140-8 (embora esta composição esteja consagrada na parte 6 da Norma), utilizando-se para tal os seguintes materiais:

- Aglomerado de cortiça *AcoustiCORK C11* da *Amorim*;
- Aglomerado de cortiça com relevo *AcoustiCORK C31* da *Amorim*;
- *Texsilen* 5 mm da *Texsa*;
- Pavimento flutuante genérico, em estratificado de madeira.

Seguidamente foi questionado se a aplicação de um pavimento flutuante sobre uma laje flutuante traria um isolamento adicional considerável. Com a mesma ligeireza de ensaios, analisaram-se as seguintes composições, que correspondem às configurações típicas:

- *Ethafoam* + lajeta + *Texsilen* + pavimento estratificado de madeira;
- Protótipo *b-quiet mix* + lajeta + *Texsilen* + pavimento estratificado de madeira;
- *Aglomex* 10 mm 120 kg/m³ + lajeta + *Texsilen* + pavimento estratificado de madeira.

Procedeu-se então à realização dos ensaios, com a produção do ruído de percussão com a máquina de impactos normalizada posicionada sobre o provete na câmara reverberante superior, medindo-se o nível sonoro na câmara reverberante inferior. Os ensaios foram repetidos no mínimo três vezes, variando-se a posição e orientação da máquina de percussão. O primeiro ensaio foi feito sobre a laje nua, isto é, sem provete.

Foram observados os níveis de pressão sonora nas gamas de frequências compreendidas entre os 16 Hz e os 12,5 kHz em bandas de um terço de oitava, mas só se analisaram as

³⁷ Estas soluções construtivas diferem essencialmente na posição em que se encontra a membrana resiliente: Na solução de lajeta flutuante a membrana é colocada entre a laje estrutural e a camada de regularização do pavimento, aplicando-se sobre esta o revestimento final (madeira, cerâmica, pedra, vinílico, etc.); Num revestimento do tipo *piso flutuante*, a regularização é feita directamente sobre a laje estrutural e a membrana é aplicada sob o material de revestimento.

correspondentes às frequências centrais seguintes (em hertz): 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3150 4000 5000

Foi calculada a média energética dos valores medidos para cada banda de terço de oitava e aplicado o factor correctivo correspondente à área de absorção sonora equivalente, calculado pela fórmula de Sabine, através do tempo de reverberação da câmara e o seu volume, obtendo-se o nível sonoro normalizado L_n (dB).

A redução sonora ΔL_w (eficácia) para cada gama de terços de oitava foi calculada por subtracção do valor L_n ao da laje nua $L_{n,0}$, que posteriormente foi subtraído ao da laje de referência $L_{n,r,0}$, obtendo-se o nível de pressão sonora normalizado do pavimento $L_{n1,r,w}$.

Usando a aplicação informática PORTHUS procedeu-se ao ajuste da curva de referência para ruídos de percussão (desprezando-se as frequências acima dos 3150 Hz, tal como exigido na EN ISO 717-2), obtendo-se o índice de redução sonora $L_{n,w}$.

Os resultados obtidos apresentam-se na figura Figura 3.2.

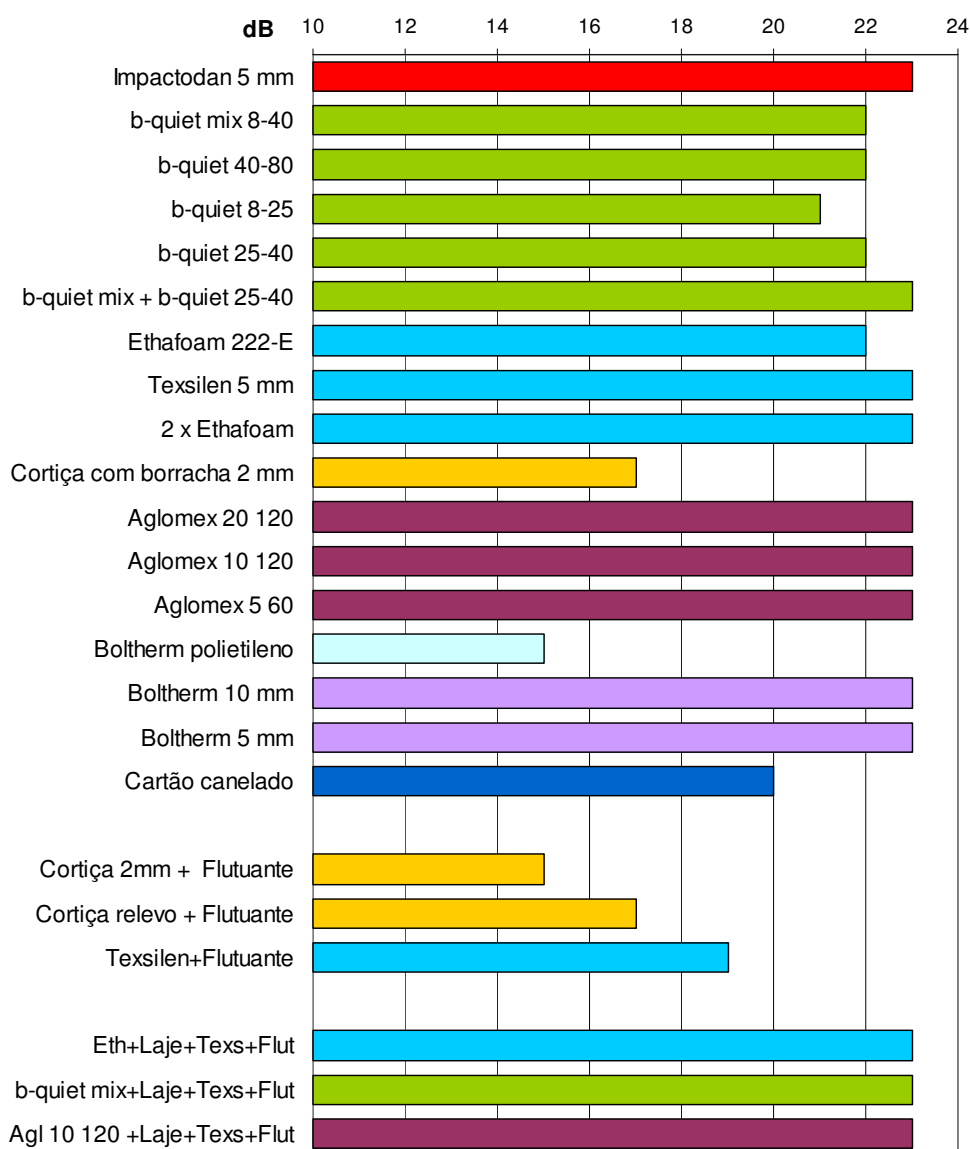


Figura 3.2 – $L_{n,w}$ - índice de redução sonora a ruídos de percussão (dB)

3.3.2 Análise dos resultados

Da análise dos resultados ressaltam as seguintes conclusões:

Salvo três exceções, que serão analisadas oportunamente, não há grande variabilidade no índice de redução sonora $L_{n,w}$ entre os materiais, que se situa nos 23 dB, pelo que a origem, densidade e espessura destes não aparentam afectar a redução sonora, sendo esta obtida essencialmente pelo facto de a lajeta estar desligada da laje estrutural por um material resiliente.

A documentação comercial do *Impactodan* 5 mm indica valores de redução sonora de 20 dB (ensaiados por esta mesma Norma). Tendo-se obtido nestes ensaios o valor de 23 dB, não se poderá concluir pela fidedignidade dos ensaios realizados, pelo menos em termos absolutos, facto parcialmente justificável por não se ter seguido escrupulosamente a Norma. No entanto, a comparação relativa entre os diversos materiais não é por essa razão inválida, uma vez que, conforme já foi referido, todos eles foram ensaiados nas mesmas condições.

A redução sonora obtida com os protótipos de granulado de borracha reciclada de pneus situa-se a apenas 1 dB do valor máximo atingido, o que atesta a plena adequabilidade deste produto ao fim pretendido.

Uma justificação para a redução no *b-quiet* 8-25 ser ligeiramente inferior aos restantes, poderá residir no facto de este protótipo apresentar uma elevada compactação dos seus pequenos grânulos, evidenciando que o que atrás se referiu a respeito do efeito “acolchoado”, mais propriamente pela redução da área livre para deformar.

O *Ethafoam 222-E*, concorrente directo do *Impactodan* nesta aplicação, situa-se 1 dB abaixo, facto que parece ter relação com a superior rigidez do material (facto observado pelo mero manuseamento dos produtos). A duplicação da espessura teve um efeito aditivo de apenas 1dB.

O *Texsilen*, com uma densidade 30% inferior ao *Ethafoam* apresenta um resultado superior, mas será questionável a relevância estatística da observação.

A cortiça aglomerada com borracha parece destacar-se com significância destes resultados, ficando claramente aquém dos demais. Ressalva-se contudo, que o fabricante não indica este material para esta utilização em particular, destinando-se sim à redução do ruído perceptível dos passos ao caminhar sobre um pavimento de madeira.

A gama de produtos *Aglomex* atinge os 23 dB de redução qualquer que seja a densidade e espessura, o que não deixa de ser interessante de constatar.

A referência polietileno da *Boltherm* é a que pior se classifica nestes ensaios, mais uma vez em consonância com a sua elevada rigidez.

Os desperdícios têxteis são igualmente eficazes, independentemente da espessura.

O cartão canelado, que foi introduzido nos testes como mera curiosidade e que não tem objectivo de aplicação prática, apresenta um resultado que não é aberrante. Salvaguarda-se, contudo, que a impraticabilidade se coloca logo no momento da aplicação da betonilha e

consequente humedecimento do material, continuando com a perda de características de isolamento sonoro dada a inevitável compressão ao longo do tempo em uso.

Na série de ensaios a pavimentos flutuantes constata-se que o nível médio de redução sonora fica significativamente abaixo dos obtidos com a solução de lajes flutuantes, colocando-os mais próximos dos limites regulamentares para edifícios de habitação.

A cortiça volta demonstrar menor eficácia do que o polietileno.

Observa-se com interesse que o produto com relevo texturizado apresenta algum benefício (2 dB) em relação ao homogêneo, uma vez mais indiciando que este tipo de isolamentos terá a ganhar com inovação ao nível das texturas.

Por último, a série de ensaios que junta ambas as soluções (lajeta flutuante com pavimento flutuante) não melhora os resultados para a laje flutuante isolada, demonstrando-se ser esta a que melhor garante a redução do ruído de percussão.

Estas considerações são ainda reforçadas pela análise do gráfico dos níveis de pressão sonora, normalizados, de alguns dos pavimentos ensaiados –Figura 3.3.

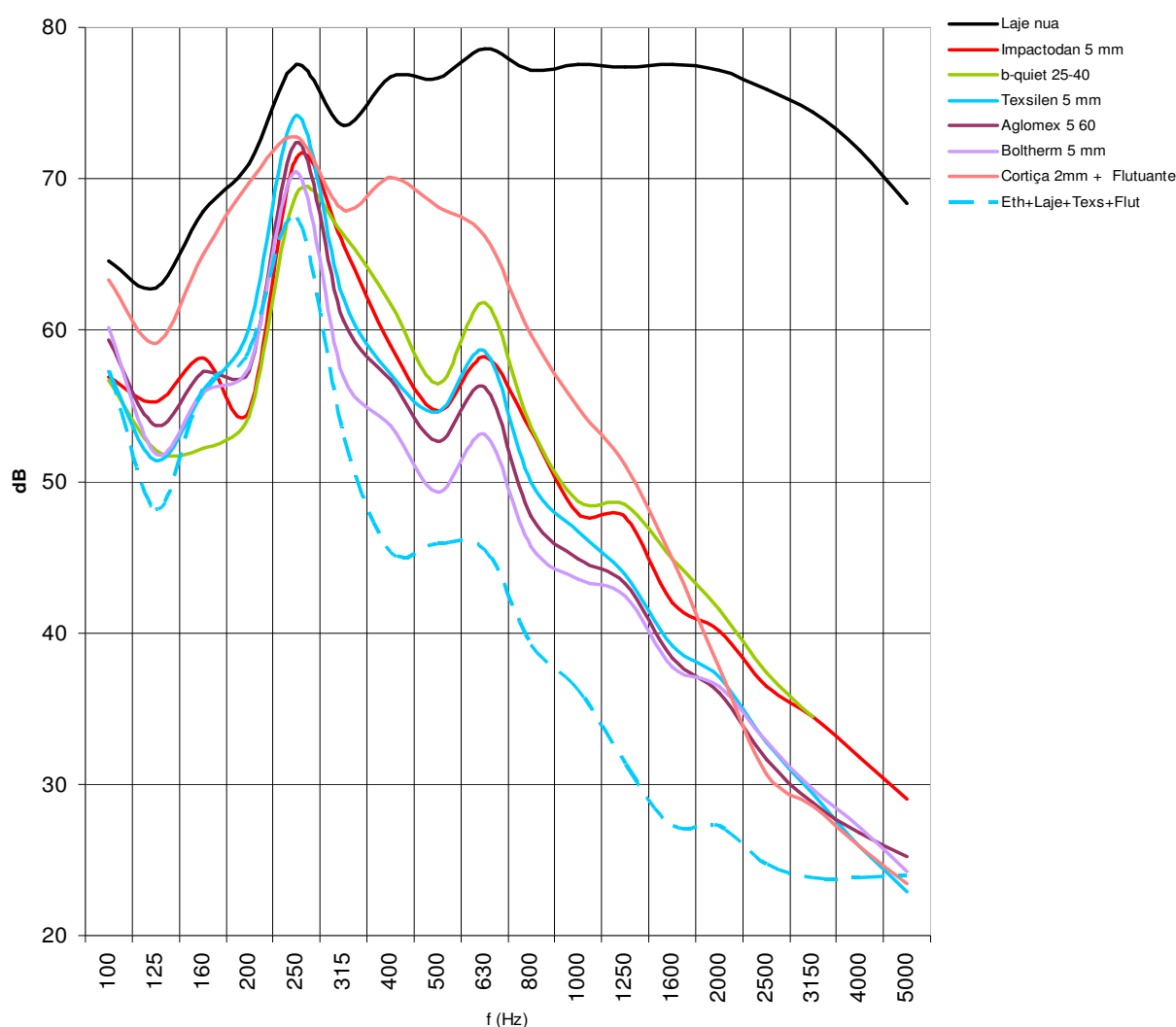


Figura 3.3 - $L_{n,1,r,w}$ - Nível de pressão sonora, normalizado, do pavimento (dB)

O gráfico desvenda grandes diferenças entre os materiais utilizados na solução de laje flutuante, que chegam a atingir cerca de 7 dB, como é o caso do *b-quiet mix* e o *Boltherm 5 mm*, na banda de terço de oitava dos 630 Hz. De notar que a diferença no índice de redução sonora $L_{n,w}$ destes materiais é de apenas 1 dB.

Centrando a atenção na curva do pavimento flutuante, verifica-se que esta tem uma forma bastante diferente das restantes, demonstrando um isolamento inferior, pelo menos até aos 1600 Hz.

A solução composta por laje flutuante e pavimento flutuante, ainda que tenha conduzido a um índice de isolamento igual (23 dB), demonstra melhorias em relação à laje flutuante isolada, conforme se pode observar na curva a tracejado.

3.4 Ambiente

Segundo Bruntland ³⁸, desenvolvimento sustentável é aquele visa permitir que as necessidades das gerações presentes sejam satisfeitas sem comprometer a capacidade das gerações futuras poderem satisfazer as suas próprias necessidades.

O desenvolvimento sustentável centra-se na melhoria da qualidade de vida para todos, sem o aumento da utilização dos recursos naturais para além da capacidade que o ambiente tem de os regenerar perpetuamente.

Durante o curso da história humana, muitas culturas têm reconhecido a necessidade de harmonia entre o meio ambiente, sociedade e economia. O que é relativamente novo é a articulação *científica* dessas ideias, que tem vindo a ganhar cada vez maior interesse e atenção de todos os estratos da sociedade, tomando um lugar estratégico quer nas políticas macroeconómicas globais, quer ao nível individual das nações, regiões, sectores, empresas e consumidores.

O sector da construção e em particular a construção de edifícios, pela dimensão que tem na economia ³⁹, é um enorme sorvedouro de recursos, quer de matérias-primas ⁴⁰, de energia ⁴¹, de meios humanos ⁴² e de capital ⁴³, produzindo 30 a 40% das emissões mundiais de gases de efeito de estufa.

³⁸ Oxford University, “*Our Common Future*”, Oxford University Press, 1987

³⁹ Em 2007 o *Valor Acrescentado Bruto* (V.A.B.) das actividades imobiliárias e de construção representaram 14,3% do *Produto Interno Bruto* (P.I.B) português - “Estatísticas da Construção e Habitação 2007”, sítio do Instituto Nacional de Estatística em www.ine.pt, acedido em 09/08/2008.

⁴⁰ Estima-se que 40% do consumo mundial de matérias-primas se destinem à construção e actividades conexas - D.M. Roodman e N. Lenssen, “A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction”, Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, D.C., 1995

⁴¹ 25 a 40% do consumo mundial de energia – United Nations Environment Programme, no sítio <http://www.unep.fr/scp/bc/> acedido em 10/08/2008

⁴² Mais de 50 mil empresas e 550 mil pessoas, ou 10,6% da população empregada em Portugal - Sítio do Instituto Nacional de Estatística em www.ine.pt, acedido em 09/08/2008

⁴³ 58% do crédito concedido a empresas em Portugal - José M. Elias da Costa, “A Banca e o Sector de Construção em Portugal e Espanha”, Apresentação na Ordem dos Engenheiros, Lisboa, Maio 2008

Neste sector, o conceito de *sustentabilidade* tem vindo a sofrer uma evolução ao longo do tempo, abrangendo um número cada vez maior de vertentes, e se inicialmente se centrava nos aspectos relacionados com os consumos de recursos e na redução dos impactos no ambiente, rapidamente se identificou a necessidade de o complementar com intervenções ao nível da concepção dos edifícios, conduzindo a intervenções mais aprofundadas no domínio das técnicas de construção, soluções construtivas e materiais, associados à eficiência energética e racionalização de consumos durante o longo período em que estarão em operação.

Mais recentemente, aspectos não-tecnológicos têm vindo a tomar um lugar preponderante, como a sustentabilidade económica, social e cultural, integrando-as numa visão holística dos desafios que se colocam.

Assim, não é apenas na fase de construção que se colocam os desafios de sustentabilidade; estes começam muito antes de as edificações existirem materialmente e prolongam-se para além do momento em que deixam de existir. Quanto mais cedo se intervir neste processo, maiores são as valias que se podem atingir.

Podem, então, identificar-se as seguintes fases e algumas das muitas intervenções possíveis no ciclo de vida de uma edificação:

- Planeamento – Ordenamento do território, topografia, preservação do meio ambiente e biodiversidade, densidade populacional, aproveitamento de economias de escala, sinergias urbanas, co-geração e micro-geração de energia, interfaces da rede eléctrica com os futuros veículos eléctricos, mobilidade, distribuição equitativa dos investimentos sociais, criação de emprego, desenvolvimento de sensibilidades ambientais, envolvimento e motivação das populações;
- Concepção – Orientadas para a durabilidade, baixa manutenção e redução de consumos, optimização da orientação solar e iluminação natural, integração urbana e paisagística, aplicação de conceitos de eficiência energética e eco-eficiência, energias alternativas e renováveis, sistemas de monitorização e gestão de energia, qualidade do ar interior, conforto térmico, acústico e visual, controlo de radiações e campos electromagnéticos, acessibilidade, adaptabilidade, optimização de soluções construtivas, selecção de materiais reciclados/recicláveis, reaproveitamento de águas residuais e pluviais, segurança pessoal, patrimonial e do investimento, inovação no design;
- Construção – Redução de consumos de matérias-primas - com particular atenção às de origem fóssil e mineral – e de energia, diminuição dos transportes, controlo da geração de desperdícios, resíduos e emissões poluentes, aumento da segurança, condições de trabalho e valorização pessoal;
- Utilização e manutenção – Racionalização de consumos, reciclagem, gestão integrada de resíduos, manutenção de valores estéticos e actualização permanente com novas tecnologias, informação e envolvimento dos utilizadores;
- Demolição, desactivação ou reabilitação – Prolongar a vida dos edifícios com beneficiações profundas que os impulsionem aos patamares de exigência futuros, reutilização de infra-estruturas, reciclagem, reaproveitamento de componentes e materiais, redução de resíduos e necessidades de transporte.

Como facilmente se constata, a indústria da construção está povoada por um grande número de intervenientes - promotores, arquitectos, engenheiros, empreiteiros e seus subempreiteiros, entidades financiadoras, utilizadores, poder local e governo – que individual e conjuntamente, têm responsabilidades, interesses e benefícios económicos neste paradigma.

O tema da *sustentabilidade* dominará, certamente, o futuro da construção em Portugal, quer seja por iniciativa das empresas (já enveredam, por exemplo, por sistemas de certificação ambiental voluntária e formam associações com o objectivo de promover a mudança rumo ao desenvolvimento sustentável), dos parceiros financeiros (exigência de avaliações de desempenho energético e ambiental para a concessão de financiamentos, integração bolsista com índices de sustentabilidade), das universidades (enquanto fonte de capital intelectual, não apenas a latente, mas pela sua responsabilidade na formação dos futuros agentes), dos governos (ordenamento de território, obras públicas, sistemas de informação, definição de metas, legislação, incentivos e criação de condições macroeconómicas favoráveis) e dos utilizadores, cada vez mais informados, exigentes e participativos.

Seja qual for o percussor, o arrastamento dos restantes intervenientes será rápido e irreversível.

4 TERCEIRA ITERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO FUTURO

Terminadas as duas primeiras iterações em cada um dos vectores, é patente o vasto campo que ainda resta para explorar.

O ciclo seguinte desta sequência iterativa deverá ser orientado para a consolidação e fundamentação do projecto nos quatro vectores seleccionados:

4.1 Processo produtivo

Definição do modelo de produção e de logística, nomeadamente na identificação dos equipamentos necessários, mão-de-obra, atravancamento geral da instalação e patamares de escala atingíveis.

Pelo que foi identificado em sede de estratégias competitivas, será interessante desenvolver um modelo de *unidade de produção integrada* implantada nas instalações de um cliente ou fornecedor, consoante a aliança estabelecida, com vantagens evidentes na gestão conjunta da cadeia logística, assim como na minimização de custos (económicos, ambientais) de transporte das matérias-primas ou produtos acabados.

4.2 Desempenho

A avaliação do desempenho funcional do produto deverá passar pela realização dos ensaios mecânicos que caracterizem o seu comportamento em dois parâmetros considerados fundamentais para o desempenho global, um relacionado com a adequabilidade do material às operações de aplicação e subsequentes - resistência ao rasgo, por adaptação das Normas ISO 4674 - e o outro com a perduração das características durante o tempo de uso - deformação remanescente por compressão, segundo a Norma ISO 1856.

4.3 Ambiente

A *análise do ciclo de vida* (na terminologia inglesa designado por LCA – Life Cycle Assessment) de um produto é fundamental não só para a caracterização do seu nível de sustentabilidade, mas para também para a identificação de melhorias a introduzir na sua concepção, o que, nesta fase inicial e ao longo de todo o futuro processo de desenvolvimento, pode trazer grandes avanços e evitar erros grosseiros.

Para esta análise propõe-se a metodologia Eco-indicator '99, pelo seu estado de desenvolvimento e aceitação internacional, nomeadamente pela compatibilidade com as Normas ISO da Série 14000, pela sua extensa base de dados de materiais, inclusivamente para materiais com a mesma função de isolamento de ruídos de percussão e pela facilidade e rapidez de obtenção de resultados, estando disponíveis diversas aplicações informáticas que as integram (*ECO-it, Simapro*), disponibilizando um interface intuitivo.

O Eco-indicator '99 atribui uma classificação final sob na forma de um indicador único, pela ponderação de diversos perigos potenciais, nomeadamente para a saúde humana, para a qualidade do ecossistema e para os recursos naturais, com recurso a parâmetros como: carcinogenicidade, eco-toxicidade, respiratórios/orgânicos, respiratórios/inorgânicos, acidificação e eutrofização, uso de terras, alterações climáticas, prospecção de minerais, radiação, utilização de combustíveis fósseis e depleção do ozono.

A vantagem de se obter um indicador único reside na facilidade com que observadores e decisores podem comparar diferentes materiais, sem necessidade de entrar em detalhe técnico.

4.4 Mercado

Construção do *Mapa Perceptual de Valor do Produto*, incidindo sobre as componentes *sustentabilidade, preço, eficácia, desempenho na aplicação e perduração das características no tempo*.

Formalização da proposta de valor do produto.

5 Espaço Universidade-Indústria

As contribuições captadas no desenvolvimento deste projecto, nomeadamente pela colaboração e empenho dos departamentos da F.E.U.P. envolvidos – Engenharia Industrial e Gestão, Engenharia Civil, Engenharia Química – da *Rede de Competência em Polímeros*, das empresas industriais *Biosafe*, *Resiquímica* e *CIN*, tornaram evidente que os tempos não são mais de *terra plana* para Universidades e Indústria, e que o desafio está em ultrapassar a dificuldade histórica de serem duas faces opostas de uma mesma “fita”, como a ilustrada na Figura 5.1.

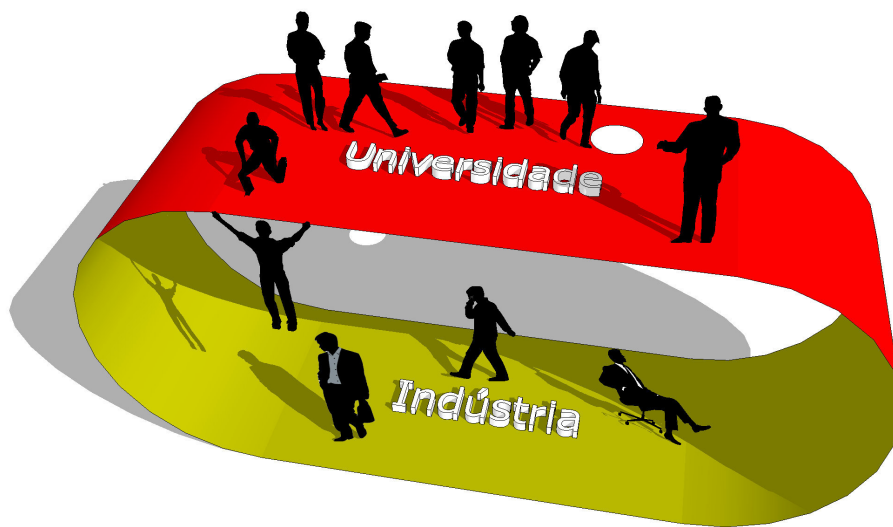


Figura 5.1 – “Fita” Universidade-Indústria

A limitação física imposta pela “fita” obriga a que se tenha de a perfurar para a atravessar para o outro lado, ou debruçar sobre a aresta para comunicar, muitas das vezes em línguas que não se dominam fluentemente.

Porém existe uma outra fita, designada de *Fita de Möbius* que parece ser o “ovo de Colombo” para a mudança deste paradigma. É uma superfície tridimensional real que dispõe de uma característica incomum: tem um só lado e uma só aresta.

Obtem-se facilmente cortando uma fita “normal” e juntando as duas extremidades após rotação de meia volta numa delas, conforme se ilustra na Figura 5.2.

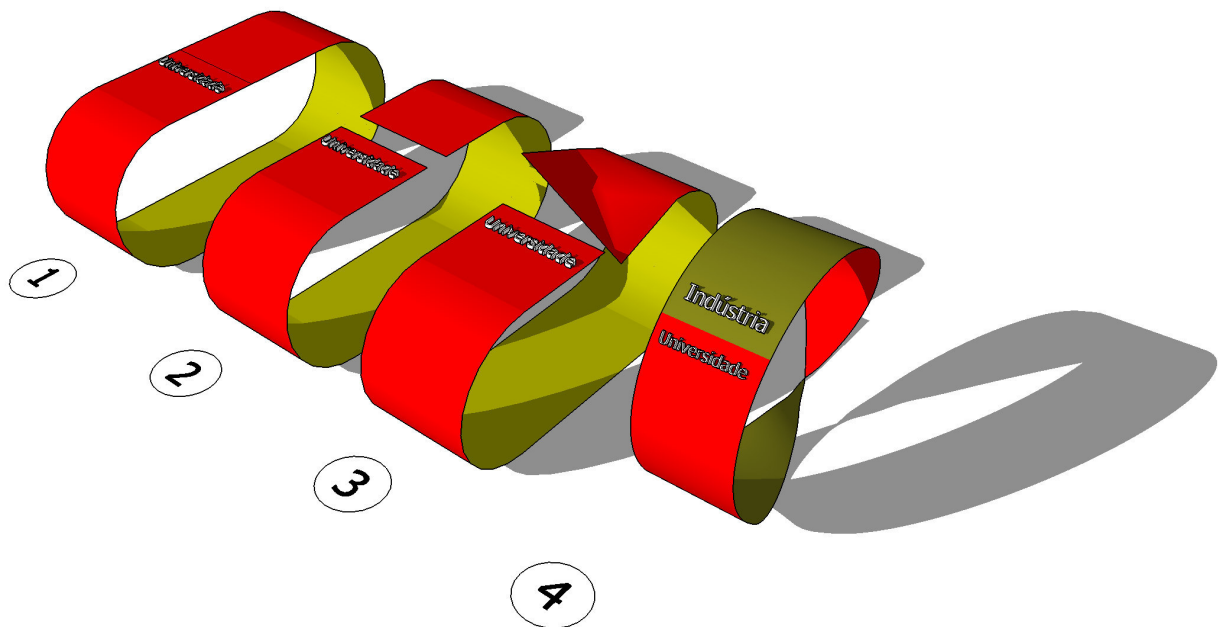


Figura 5.2 – Construção da “Fita de Möbius” a partir de uma fita “normal”

Agora passa a existir um único lado, onde não é necessário cruzar nenhuma aresta, nem criar furos para passar para o outro lado, porque não há “outro lado”. Pode-se transitar livremente em toda a superfície sem obstáculos.

O que se torna ainda mais interessante é o facto de, quando cortada a “Fita de Möbius” no sentido do seu comprimento, obter-se uma nova “Fita de Möbius” com o dobro do comprimento da original. É portanto escalável, sem perder a sua característica fundamental.

Se se cortar novamente esta “Fita de Möbius” no sentido do comprimento, o resultado é inesperado, mas surpreendedor: obtêm-se duas “Fitas de Möbius” entrelaçadas, réplicas da “Fita de Möbius” original.

E assim continuamente, cortando, replicando e criando um novo fractal em torno de um núcleo primordial, que se propõe ser a visão holística da *sustentabilidade na construção*.

A transformação do espaço Universo-Indústria em “Fitas de Möbius”, formando redes abertas de cooperação, acrescentando participantes que contribuem colaborativamente na medida dos seus interesses e ambições, desenvolvendo uma plataforma onde a informação possa fluir e cujos resultados são livre e transparentemente disponibilizados para a comunidade ao longo de todo o processo, impulsionará a progressão sobre a espiral iterativa.

6 Conclusões

Estima-se que a dimensão do mercado nacional, europeu e dos Estados Unidos da América, medida pela área de construção em edificações novas para habitação familiar poderá ascender a 7, 250 e 265 milhões de metros quadrados anuais, respectivamente.

É possível identificar um vasto número de produtos para a função proposta, muitos dos quais utilizam materiais reciclados - inclusivamente borracha reciclada de pneus -, são recicláveis e baratos.

Da análise estratégica levada a cabo identifica-se utilidade no estabelecimento de alianças com produtos complementares, deixando em aberto a possibilidade de adicionar uma componente de serviço.

Demonstra-se ser tecnicamente possível produzir uma membrana resiliente, eficaz, de baixo custo, com recurso a borracha reciclada de pneus.

Constata-se que destino dos pneus em fim de vida deixou de ser uma catástrofe ambiental, estando Portugal na dianteira do desempenho europeu em matéria de reciclagem de pneus.

Conclui-se que o tema da sustentabilidade será de enorme importância no sector da construção, num futuro tão próximo, que já chegou.

Defende-se que a importância da sustentabilidade – na sua definição holística, definidora da forma como a Humanidade viverá os tempos vindouros – não é tarefa para estar contida apenas no micro-universo das relações empresas com os seus clientes, uma vez que atravessa transversalmente toda a estrutura das sociedades modernas, tendo as universidades um papel preponderante enquanto fonte de capital intelectual latente e responsabilidade na formação dos futuros agentes.

Propõe-se uma transformação no espaço de relações Universidade-Indústria para abraçar este tema, alegorizada por uma “*Fita de Möbius*”.

Conclui-se, por fim, que a abordagem cíclica iterativa é um auxiliar estruturador útil, por evoluir progressiva e consubstanciadamente no processo de idealização, abrindo caminho à utilização de metodologias específicas para a comercialização de produtos inovadores com componente tecnológica.

7 Bibliografia

IARC, “IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans”, Volume 81 - “Man-made Vitreous Fibres”, IARC Press, Lyon, 2002

United States Environmental Protection Agency, "Air emissions from scrap tyre combustion", Office of Research and Development, Washington D.C., 1997.

Secretariat of the Basel Convention (SBC), “Technical Guidelines on Hazardous Wastes: Identification and Management of Used Tyres”, Basel Convention Series/SBC No: 99/008, Genebra, Outubro 1999.

European Tyre Recycling Association, “Introduction to Tyre Recycling : 2004”, no sítio <http://www.etra-eu.org/>, acedido em 16/08/2008

Rubber Manufacturers Association, “Scrap Tire Markets in the United States - 2005 Edition”, no sítio <https://www.rma.org/publications>, acedido em 16/08/2008

ETRMA – European Tyre Manufacturers Association, “Used tyres recovery in Europe in 2006”, no sítio http://www.etrma.org/pdf/Used_tyres_recovery_in_Europe_in_2006_ETRMA_national_figures_July_07.pdf, acedido em 16/08/2008

Valorpneu – Sociedade de Gestão de Pneus, Lda., “Relatório anual & contas 2007”, no sítio <http://www.valorpneu.pt/> acedido em 16/08/2008

United States Environmental Protection Agency, "Air emissions from scrap tyre combustion", Office of Research and Development, Washington D.C., 1997

Michael E. Porter, “Competitive Strategy – Techniques for analysing industries and competitors”, The Free Press, 1980

Adam Bradenburger e Barry Nalebuff, “Co-Opetition : A Revolution Mindset That Combines Competition and Cooperation : The Game Theory Strategy That's Changing the Game of Business”, Doubleday Broadway Books, 1996

Malcom J. Crocker, “Handbook of Acoustics”, Wiley Interscience, 1998

Rushforth, I.M. *et al.*, “Impact sound insulation and viscoelastic properties of underlay manufactured from recycled carpet waste”, Applied Acoustics, n.º 6, Volume 66., Elsevier, 2005.

2º Relatório de progresso da AVEIRODOMUS - Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro, subprojecto de acústica, Universidade de Aveiro, Julho de 2006

Oxford Univerity, “*Our Common Future*”, Oxford University Press, 1987

INE, “Estatísticas da Construção e Habitação 2007”, sítio do Instituto Nacional de Estatística em www.ine.pt, acedido em 09/08/2008.

D.M. Roodman e N. Lenssen, “A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction”, Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, D.C., 1995

José M. Elias da Costa, “A Banca e o Sector de Construção em Portugal e Espanha”, Apresentação na Ordem dos Engenheiros, Lisboa, Maio 2008

Sítio <http://www.insee.fr/fr/ffc/ipweb/ip1145/ip1145.html> acedido em 11/06/2008

Sítio <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do> acedido em 14/06/2008

Sítio http://www.istat.it/dati/catalogo/20040213_00/ acedido em 14/06/2008

Sítio

<http://www.communities.gov.uk/housing/housingresearch/housingstatistics/housingstatisticsby/housebuilding/livables/> acedido em 14/06/2008

Sítio

http://destatis.de/jetspeed/portal/_ns:YW13bXMtY29udGVudDo6Q29udGVudFBvcnRsZXQ6OjF8ZDF8ZWNoYW5nZVdpbmRvd1N0YXRIPTE9dHJ1ZQ_/cms/Sites/destatis/Internet/EN/Content/Statistics/BauenWohnen/Bautatigkeit/Tabellen/Content50/Permits,templateId=renderPrint.psml acedido em 15/08/2008

Sítio <http://www.census.gov/const/www/charindex.html#singlecomplete> acedido em 12/06/2008

Sítio <http://www.unep.fr/scp/bc/> acedido em 10/08/2008

8 ANEXO A: Mapa de controlo de produção de amostras

Abordagem cíclica iterativa no desenvolvimento de produtos no espaço Universidade-Indústria
Estudo de caso: Membrana resiliente de baixo custo para isolamento de ruídos de percussão, com recurso a borracha reciclada de pneus

MAPA DE CONTROLO DE PRODUÇÃO DE AMOSTRAS

Protótipo nº	Dimensões	Peso Papel (g)	AGREGANTE BASE					GRANULADO		AGREGANTE TOPO		Preço Agregante (€/kg)	Custo Agregante (€/m 2)	
			Referência comercial	Método de Aplicação	Peso (g)	Peso (g/m 2)	Peso MP (g/m 2)	Granulo metria	Peso (g)	Uso	Peso (g)			
1	37.5 x 43	14,7	Hyperdesmo	spray	30,2	187	187	25-40	231	Sim	16,1	5,00 €	1,44	
2	37.5 x 43	14,7	Hyperdesmo	spray	30,2	187	187	25-40	211	Sim	16,1	5,00 €	1,44	
3	37.5 x 43	14,7	Hyperdesmo	spray	30,2	187	187	25-40	191	Não		5,00 €	0,94	
4	30 x 25.3	6,9	Polidisp DM 9762	espátula	19,5	257	128	25-40	76	diluído 20% mp		1,00 €	0,26	
5	30 x 25.3	6,9	Polidisp DM 9762	espátula	19,5	257	128	25-40	104			5,9	1,00 €	0,33
6	30 x 25.3	6,9	Polidisp DM 9762	spray	10,9	144	72	25-40	114		Sim	11,8	1,00 €	0,30
7	30 x 25.3	6,9	Polidisp 7730	espátula	16,8	221	111	25-40	78	Não		1,00 €	0,22	
8	30 x 25.3	6,9	Polidisp 7730	spray	11,2	148	74	25-40	155	Não		1,00 €	0,15	
9	30 x 25.3	6,9	Polidisp 7730	spray 80%	8,96	118	59	25-40	155	Sim 80%	25,4	1,00 €	0,45	
10	30 x 25.3	6,9	CIN C-Thane PVC 700 BR.	espátula	22,8	300	300	25-40	91	Não		8,70 €	2,61	
11	30 x 25.3	6,9	CIN C-Thane PVC 700 BR.	spray	22,8	300	300	25-40	91	Não		8,70 €	2,61	
12	30 x 25.3	6,9	CIN C-Thane PVC 700 BR.	Pasta com diluição 50%	22,8	300	300	25-40	182	Não		8,70 €	2,61	
15	30 x 25.3	6,9	CIN C-Thane PVC 700 BR.	Pasta com diluição 50%	22,8	300	300	25-40	83	Não		8,70 €	2,61	
16	30 x 25.3	6,9	CIN C-Thane PVC 700 BR.	Pasta com diluição 50%	22,8	300	300	40-70	163	Não		8,70 €	2,61	
13	30 x 25.3	6,9	Lorcol Lorpur 1728	espátula	18,5	244	244	25-40	85	Não		5,00 €	1,22	
17	30 x 25.3	6,9	Lorcol Lorpur 1728 - Pasta	Pasta com diluição 50%	18,5	244	244	25-40	85	Não		5,00 €	1,22	
18	70 x 70	50	Polidisp 7730	Encolagem 20% Diluição	240	490	245	40-70	2000	Não		1,00 €	0,49	
19	70 x 70	50	Polidisp 7730	Encolagem 20% Diluição	160	327	163	25-40	1000	Não		1,00 €	0,33	
20	70 x 70	50	Polidisp 7730	Encolagem 20% Diluição	160	327	163	8-25	1000	Não		1,00 €	0,33	
21	70 x 70	50	Polidisp 7730	Encolagem 20% Diluição	144	294	147	8-25-40	1000	Não		1,00 €	0,29	

Abordagem cíclica iterativa no desenvolvimento de produtos no espaço Universidade-Indústria
Estudo de caso: Membrana resiliente de baixo custo para isolamento de ruídos de percussão, com recurso a borracha reciclada de pneus

AGREGANTE BASE		RESULTADOS			SCORE			
Referência comercial	Método de Aplicação	Agregação	Flexibilidade	Média Preço	Preço	Agregação	Flexibilidade	Ambiente
Hyperdesmo	spray	5	5	1,43	3	4	5	3
Hyperdesmo	spray	ABORTADO	ABORTADO					
Hyperdesmo	spray	4	5					
Polidisp DM 9762	espátula	4	5	0,45	1	4	4	4
Polidisp DM 9762	espátula	3	4					
Polidisp DM 9762	spray	3	4					
Polidisp 7730	espátula	2	5	0,48	1	2	5	4
Polidisp 7730	spray	2	5					
Polidisp 7730	spray 80%	5	5					
CIN C-Thane PVC 700 BR.	espátula	4	5	2,81	5	5	4	2
CIN C-Thane PVC 700 BR.	spray	3	5					
CIN C-Thane PVC 700 BR.	Pasta com diluição 50%	5	3					
CIN C-Thane PVC 700 BR.	Pasta com diluição 50%	5	4					
CIN C-Thane PVC 700 BR.	Pasta com diluição 50%	5	3	1,35	2	5	3	1
Lorcol Lorpur 1728	espátula	5	3					
Lorcol Lorpur 1728 - Pasta	Pasta com diluição 50%	5	1					
Polidisp 7730	Encolagem 20% Diluição	5	4	0,67	1	5	5	4
Polidisp 7730	Encolagem 20% Diluição	5	5					
Polidisp 7730	Encolagem 20% Diluição	5	5					
Polidisp 7730	Encolagem 20% Diluição	5	5					

9 ANEXO B: Dados dos ensaios de percussão

Abordagem cíclica iterativa no desenvolvimento de produtos no espaço Universidade-Indústria

Estudo de caso: Membrana resiliente de baixo custo para isolamento de ruídos de percussão, com recurso a borracha reciclada de pneus

DADOS DE ENSAIO - Nível de pressão sonora - L (dB)

f (Hz)	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Laje nua						66,8	60,5	63,5	67,0	75,8	75,3	77,9	81,6	80,5	82,9	82,7	82,6	82,6	81,2	81,8	81,6	80,3	78,9
Impactodan 5 mm						60,1	60,5	64,3	59,3	68,2	65,6	61,6	75,4	72,6	65,2	60,7	62,2	58,9	51,6	52,1	46,0	43,3	39,5
b-quiet mix 8-40						59,9	62,0	59,1	59,5	63,2	60,5	61,8	75,3	72,3	66,9	62,7	65,3	58,7	53,6	53,5	49,3	44,8	39,8
b-quiet 40-80						61,8	60,2	57,6	56,2	63,5	60,3	57,9	74,0	74,5	66,3	61,5	63,6	58,9	52,0	52,4	46,4	43,3	39,2
b-quiet 8-25						60,6	62,4	58,5	58,9	65,2	63,1	63,1	76,6	73,5	67,8	62,6	64,5	58,9	52,8	53,7	49,4	44,9	41,9
b-quiet 25-40						62,6	62,0	59,1	59,1	65,0	59,7	61,2	73,0	73,3	67,9	62,5	65,8	59,1	52,4	52,9	49,0	44,7	40,4
b-quiet mix + b-quiet 25-40						57,3	57,6	55,1	52,4	54,7	54,3	60,8	73,0	66,7	62,1	59,3	61,3	55,0	51,6	49,8	45,3	40,8	36,2
Ethafoam 222-E						60,7	63,1	62,4	60,4	67,2	66,1	62,8	74,8	69,6	66,2	62,2	65,6	57,7	51,6	51,6	47,4	45,5	43,9
Texsilen 5 mm						60,7	60,5	61,2	59,7	64,3	63,3	67,0	78,2	69,2	63,4	60,6	62,6	55,5	50,4	48,2	43,2	40,3	35,8
2 x Ethafoam						57,6	58,9	58,5	61,0	64,0	62,7	66,5	73,1	63,7	60,0	55,6	56,8	51,0	47,4	45,8	41,0	39,4	35,3
Cortiça com borracha 2 mm						63,5	62,9	68,1	66,4	69,6	67,1	69,8	79,9	76,1	71,1	68,2	71,4	64,6	58,9	58,8	51,8	47,6	43,3
Aglomex 20 120						56,0	56,2	50,9	52,7	58,9	56,9	57,7	64,2	55,6	54,3	50,4	53,5	49,2	48,4	46,7	39,8	38,2	34,0
Aglomex 10 120						58,8	60,2	55,9	58,0	64,1	60,9	60,8	70,5	61,1	57,8	53,7	55,4	49,9	46,0	45,6	41,3	40,2	35,4
Aglomex 5 60						59,5	60,2	59,6	61,8	66,7	64,7	64,2	76,4	67,7	63,0	58,6	60,2	53,2	48,6	47,7	42,3	39,2	34,7
Boltherm polietileno						60,7	61,5	65,5	70,7	74,6	72,0	72,6	79,5	78,2	75,2	71,5	74,0	67,3	61,5	62,3	56,2	51,6	46,9
Boltherm 10 mm						59,8	61,9	59,0	58,6	61,7	60,3	59,9	66,5	57,4	55,1	50,9	52,6	48,6	46,2	46,0	42,5	40,6	36,6
Boltherm 5 mm						60,9	63,1	61,3	62,6	64,8	63,4	64,4	74,5	63,9	59,9	55,3	57,1	51,2	47,3	46,9	41,8	39,7	35,8
Cartão canalado						58,5	62,0	65,2	63,3	68,9	65,0	64,4	77,3	73,7	67,1	64,4	66,0	60,3	54,5	52,9	49,6	48,2	45,3
Cortiça 2mm + Flutuante						62,2	57,6	62,9	65,7	72,1	72,5	76,7	76,8	74,9	76,3	74,2	70,2	65,2	58,6	55,5	48,9	40,9	33,7
Cortiça relevo + Flutuante						58,2	57,9	62,3	64,6	72,7	72,4	76,2	75,5	71,9	71,0	69,8	66,2	59,1	51,7	44,3	39,1	34,8	30,3
Texsilen+Flutuante						58,4	59,3	62,4	65,9	71,5	71,9	77,0	73,3	69,6	68,3	66,0	63,8	55,1	46,7	42,1	37,5	34,4	30,8
Eth+Laje+Texs+Flut						63,8	62,4	61,7	59,7	61,1	63,5	65,5	71,5	59,9	51,6	51,9	49,5	44,7	40,0	35,7	31,3	30,4	27,7
b-quiet mix+Laje+Texs+Flut						64,0	60,5	61,5	60,0	61,0	61,4	65,2	70,4	63,6	53,5	52,7	50,6	45,7	40,4	36,5	31,9	29,7	28,1
Agl 10 120 +Laje+Texs+Flut						65,8	57,0	56,9	57,7	58,2	60,7	63,0	64,4	52,2	48,5	49,6	48,3	44,4	39,0	34,8	30,4	28,4	26,1

NÍVEL SONORO NORMALIZADO - Ln (dB)

					f (Hz)																						
					100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500								
					17,37	13,19	13,28	13,05	12,8	12,54	12,64	11,42	10,5	9,777	8,75	8,068	7,061	5,918	5,321								
Volume 202					-7,3	-6,11	-6,14	-6,06	-5,98	-5,89	-5,92	-5,48	-5,12	-4,81	-4,33	-3,97	-3,39	-2,63	-2,17								
Tempo de Reverberação																											
Termo correctivo																											
f (Hz)					16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Laje nua													59,7	69,7	69,2	71,9	75,6	74,6	77,0	77,2	77,4	77,8	76,9	77,9	78,2	77,7	76,7
Impactodan 5 mm													52,0	62,1	59,5	55,5	69,4	66,7	59,3	55,2	57,1	54,1	47,3	48,1	42,6	40,7	37,4
b-quiet mix 8-40													52,2	57,1	54,3	55,8	69,3	66,4	61,0	57,2	60,1	53,9	49,3	49,6	45,9	42,2	37,7
b-quiet 40-80													48,9	57,4	54,1	51,8	68,0	68,6	60,4	56,0	58,4	54,1	47,6	48,4	43,0	40,7	37,0
b-quiet 8-25													51,6	59,1	57,0	57,0	70,6	67,6	61,9	57,2	59,4	54,1	48,4	49,8	46,0	42,3	39,8
b-quiet 25-40													51,8	58,9	53,5	55,2	67,0	67,5	62,0	57,0	60,7	54,3	48,1	48,9	45,6	42,1	38,3
b-quiet mix + b-quiet 25-40													45,1	48,6	48,2	54,7	67,0	60,8	56,2	53,8	56,2	50,2	47,3	45,8	41,9	38,1	34,0
Ethafoam 222-E													53,1	61,1	59,9	56,7	68,8	63,7	60,3	56,7	60,5	52,9	47,2	47,6	44,0	42,9	41,7
Texsilen 5 mm													52,4	58,2	57,1	61,0	72,2	63,3	57,5	55,1	57,5	50,7	46,1	44,3	39,8	37,6	33,6
2 x Ethafoam													53,7	57,9	56,6	60,5	67,1	57,8	54,1	50,2	51,7	46,2	43,0	41,8	37,6	36,7	33,2
Cortiça com borracha 2 mm													59,0	63,5	61,0	63,7	73,9	70,2	65,2	62,7	66,3	59,8	54,6	54,9	48,4	45,0	41,2
Aglo mex 20 120													45,3	52,8	50,8	51,7	58,2	49,7	48,4	44,9	48,4	44,4	44,1	42,8	36,4	35,5	31,9
Aglo mex 10 120													50,7	58,0	54,8	54,8	64,6	55,3	51,9	48,2	50,3	45,1	41,7	41,6	37,9	37,6	33,3
Aglo mex 5 60													54,5	60,6	58,5	58,2	70,4	61,8	57,1	53,1	55,1	48,4	44,3	43,7	38,9	36,6	32,5
Boltherm polietileno													63,4	68,5	65,9	66,6	73,5	72,3	69,3	66,0	68,9	62,5	57,1	58,4	52,8	49,0	44,8
Boltherm 10 mm													51,3	55,6	54,2	53,8	60,5	51,5	49,2	45,4	47,5	43,8	41,8	42,0	39,1	37,9	34,4
Boltherm 5 mm													55,3	58,7	57,2	58,4	68,5	58,0	54,0	49,8	51,9	46,4	43,0	42,9	38,4	37,1	33,7
Cartão canalado													56,0	62,8	58,8	58,3	71,3	67,8	61,2	58,9	60,9	55,5	50,1	48,9	46,2	45,6	43,2
Cortiça 2mm + Flutuante													58,4	66,0	66,3	70,6	70,8	69,0	70,4	68,7	65,1	60,4	54,3	51,5	45,5	38,3	31,5
Cortiça relevo + Flutuante													57,3	66,6	66,3	70,2	69,5	66,0	65,1	64,3	61,1	54,3	47,4	40,4	35,7	32,2	28,1
Texsilen+Flutuante													58,6	65,4	65,8	71,0	67,3	63,7	62,4	60,5	58,7	50,3	42,4	38,1	34,1	31,7	28,6
Eth+Laje+Texs+Flut													52,4	55,0	57,4	59,4	65,5	54,0	45,7	46,4	44,4	39,9	35,7	31,7	27,9	27,8	25,6
b-quiet mix+Laje+Texs+Flut													52,7	54,9	55,3	59,1	64,4	57,7	47,5	47,3	45,5	40,9	36,0	32,5	28,5	27,1	25,9
Agl 10 120 +Laje+Texs+Flut													50,4	52,1	54,5	56,9	58,4	46,3	42,6	44,2	43,2	39,6	34,7	30,8	27,0	25,8	24,0

Abordagem cíclica iterativa no desenvolvimento de produtos no espaço Universidade-Indústria

Estudo de caso: Membrana resiliente de baixo custo para isolamento de ruídos de percussão, com recurso a borracha reciclada de pneus

REDUÇÃO SONORA - □Lw

f (Hz)	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Laje nua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Impactodan 5 mm	7,7	7,5	9,7	16,4	6,2	7,9	17,7	22,0	20,4	23,7	29,7	29,8	35,6	37,0	39,4								
b-quiet mix 8-40	7,5	12,5	14,8	16,1	6,3	8,2	16,0	20,0	17,3	23,9	27,6	28,3	32,3	35,5	39,0								
b-quiet 40-80	10,8	12,3	15,0	20,1	7,6	6,0	16,6	21,1	19,0	23,7	29,3	29,4	35,2	37,0	39,7								
b-quiet 8-25	8,1	10,6	12,2	14,9	5,0	7,1	15,1	20,0	18,0	23,7	28,5	28,1	32,2	35,4	37,0								
b-quiet 25-40	8,0	10,7	15,6	16,7	8,5	7,2	15,0	20,2	16,8	23,6	28,8	28,9	32,6	35,6	38,5								
b-quiet mix + b-quiet 25-40	14,7	21,1	21,0	17,2	8,5	13,8	20,8	23,4	21,2	27,6	29,6	32,1	36,3	39,6	42,7								
Ethafoam 222-E	6,6	8,5	9,2	15,1	6,7	10,9	16,8	20,5	17,0	24,9	29,7	30,2	34,1	34,8	35,0								
Texsilen 5 mm	7,3	11,4	12,0	10,9	3,3	11,4	19,6	22,1	19,9	27,1	30,9	33,6	38,4	40,1	43,1								
2 x Ethafoam	6,1	11,8	12,6	11,4	8,5	16,8	23,0	27,0	25,8	31,6	33,9	36,1	40,6	41,0	43,6								
Cortiça com borracha 2 mm	0,7	6,1	8,2	8,2	1,6	4,4	11,9	14,5	11,1	18,0	22,3	23,0	29,8	32,7	35,6								
Aglomex 20 120	14,4	16,9	18,4	20,2	17,3	24,9	28,6	32,3	29,1	33,4	32,9	35,1	41,8	42,2	44,9								
Aglomex 10 120	9,0	11,7	14,4	17,1	11,0	19,4	25,2	28,9	27,1	32,7	35,2	36,3	40,3	40,1	43,5								
Aglomex 5 60	5,2	9,1	10,6	13,7	5,1	12,9	19,9	24,0	22,4	29,4	32,6	34,1	39,2	41,1	44,2								
Boltherm polietileno	-3,7	1,2	3,3	5,3	2,1	2,3	7,7	11,2	8,6	15,3	19,8	19,5	25,4	28,7	32,0								
Boltherm 10 mm	8,4	14,0	15,0	18,1	15,0	23,1	27,9	31,7	29,9	34,0	35,1	35,8	39,0	39,8	42,3								
Boltherm 5 mm	4,4	11,0	11,9	13,5	7,1	16,6	23,0	27,3	25,5	31,4	33,9	35,0	39,8	40,6	43,1								
Cartão canalado	3,8	6,9	10,3	13,5	4,3	6,8	15,8	18,3	16,6	22,3	26,8	29,0	32,0	32,1	33,5								
Cortiça 2mm + Flutuante	1,3	3,6	2,8	1,3	4,8	5,6	6,7	8,5	12,4	17,4	22,6	26,3	32,6	39,4	45,2								
Cortiça relevo + Flutuante	2,4	3,1	2,9	1,7	6,0	8,6	11,9	12,9	16,3	23,5	29,5	37,5	42,5	45,5	48,6								
Texsilen+Flutuante	1,1	4,2	3,4	0,9	8,3	10,9	14,7	16,6	18,8	27,5	34,5	39,7	44,1	46,0	48,1								
Eth+Laje+Texs+Flut	7,3	14,7	11,8	12,5	10,1	20,7	31,4	30,8	33,1	37,9	41,3	46,1	50,3	49,9	51,2								
b-quiet mix+Laje+Texs+Flut	7,0	14,8	13,9	12,7	11,2	17,0	29,5	29,9	32,0	36,9	40,9	45,4	49,7	50,6	50,8								
Agl 10 120 +Laje+Texs+Flut	9,3	17,6	14,6	15,0	17,2	28,3	34,5	33,0	34,2	38,2	42,2	47,0	51,2	51,9	52,8								

NÍVEL DE PRESSÃO SONORA, NORMALIZADO, DO PAVIMENTO - Ln1rw (dB) ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO - Lnw (dB)

f (Hz)									100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500											
Nível de pressão sonora, normalizado, numa laje de referência - Ln r0 (dB)									64,6	62,79	67,86	71,01	77,52	73,5	76,72	76,65	78,57	77,14	77,51	77,42	77,53	77,13	75,87											
f (Hz)									16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500			
Laje nua									64,6	62,8	67,9	71,0	77,5	73,5	76,7	76,6	78,6	77,1	77,5	77,4	77,5	77,1	75,9											
Impactodan 5 mm									56,9	55,3	58,2	54,6	71,4	65,6	59,0	54,7	58,2	53,4	47,8	47,7	42,0	40,1	36,5											
b-quiet mix 8-40									57,1	50,2	53,0	54,9	71,2	65,3	60,7	56,7	61,3	53,3	49,9	49,1	45,3	41,6	36,8											
b-quiet 40-80									53,8	50,5	52,8	50,9	69,9	67,5	60,1	55,5	59,6	53,4	48,2	48,0	42,3	40,1	36,1											
b-quiet 8-25									56,5	52,2	55,7	56,1	72,6	66,4	61,6	56,6	60,5	53,4	49,0	49,3	45,4	41,7	38,9											
b-quiet 25-40									56,6	52,0	52,2	54,3	69,0	66,3	61,7	56,4	61,8	53,6	48,7	48,5	44,9	41,5	37,4											
b-quiet mix + b-quiet 25-40									49,9	41,7	46,9	53,8	69,0	59,7	55,9	53,3	57,4	49,5	47,9	45,4	41,3	37,6	33,2											
Ethafoam 222-E									58,0	54,2	58,6	55,9	70,8	62,6	60,0	56,2	61,6	52,2	47,8	47,2	43,4	42,3	40,9											
Texsilen 5 mm									57,3	51,3	55,8	60,1	74,2	62,1	57,1	54,6	58,6	50,0	46,7	43,8	39,2	37,1	32,8											
2 x Ethafoam									58,5	51,0	55,3	59,6	69,0	56,7	53,7	49,6	52,8	45,5	43,6	41,3	36,9	36,2	32,3											
Cortiça com borracha 2 mm									63,9	56,7	59,7	62,8	75,9	69,1	64,8	62,2	67,4	59,1	55,2	54,4	47,7	44,4	40,3											
Aglomex 20 120									50,2	45,9	49,5	50,8	60,2	48,6	48,1	44,4	49,5	43,7	44,6	42,3	35,8	35,0	31,0											
Aglomex 10 120									55,6	51,1	53,5	53,9	66,5	54,1	51,6	47,7	51,5	44,4	42,3	41,2	37,3	37,0	32,4											
Aglomex 5 60									59,4	53,7	57,2	57,3	72,4	60,6	56,8	52,6	56,2	47,7	44,9	43,3	38,3	36,0	31,6											
Boltherm polietileno									68,3	61,6	64,6	65,7	75,5	71,2	69,0	65,5	70,0	61,9	57,7	57,9	52,2	48,4	43,9											
Boltherm 10 mm									56,2	48,8	52,9	52,9	62,5	50,4	48,8	44,9	48,6	43,2	42,4	41,6	38,5	37,4	33,5											
Boltherm 5 mm									60,2	51,8	55,9	57,5	70,5	56,9	53,7	49,3	53,1	45,7	43,6	42,4	37,7	36,5	32,8											
Cartão canalado									60,8	55,9	57,5	57,5	73,2	66,7	60,9	58,4	62,0	54,8	50,7	48,5	45,6	45,0	42,3											
Cortiça 2mm + Flutuante									63,3	59,1	65,0	69,7	72,7	67,9	70,1	68,2	66,2	59,7	54,9	51,1	44,9	37,7	30,6											
Cortiça relevo + Flutuante									62,2	59,7	65,0	69,3	71,5	64,9	64,8	63,7	62,2	53,7	48,0	39,9	35,1	31,6	27,2											
Texsilen+Flutuante									63,5	58,5	64,5	70,1	69,3	62,6	62,0	60,0	59,8	49,6	43,0	37,7	33,4	31,2	27,7											
Eth+Laje+Texs+Flut									57,3	48,1	56,1	58,6	67,4	52,8	45,4	45,9	45,5	39,2	36,2	31,3	27,3	27,2	24,7											
b-quiet mix+Laje+Texs+Flut									57,6	48,0	54,0	58,3	66,3	56,5	47,2	46,7	46,6	40,2	36,6	32,0	27,9	26,5	25,1											
Agl 10 120 +Laje+Texs+Flut									55,3	45,2	53,2	56,0	60,4	45,2	42,3	43,6	44,4	39,0	35,3	30,4	26,3	25,2	23,1											